سلسلة تقدمات فى دراسات الخضر

٣

تقدمات فى دراسات

عوامل الشدِّ البيئى ووسائل التغلب عليها

تأليف

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ الخضر المتفرغ

كلية الزراعة – جامعة القاهرة

٢٠٢٣

تقدمات فى دراسات عوامل الشدِّ البيئى ووسائل التغلب عليها

حسـن، أحمد عبد المنعم
تقدمات فى دراسـات عوامل الشـدِّ البيئى ووسـائل التغلب عليها
تأليف: أحمد عبد المنعم حسـن.
ط١.- القاهرة: - ٢٠٢٣ م - ١٤٤٤ هـ
١٦٥ ص, ١٧ × ٢٤- (سلسلة تقدمات فى دراسات الخضر).
إنتاج الخضر
فسيولوجيا الخضر
العنوان

الطبعة الأولى
١٤٤٤هـ - ٢٠٢٣م

مقدمة

كما يُستدل من عنوان هذا الكتاب، فإنه يُركز على التقدمات فى دراسات عوامل الشدِّ البيئى ووسائل التغلب عليها؛ ولذا.. فإننا تجنبنا قدر الإمكان أى تكرار لما سبق أن قدمناه حول هذا الموضوع فى كتب سابقة، والتى كان منها ما يلى:

- أساسيات إنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (الصوبات) (حسن ١٩٨٨).
- أساسيات وفسيولوجيا الخضر (حسن ١٩٩٨).
- أساسيات وتكنولوجيا إنتاج الخضر (حسن ٢٠١٥).
- عوامل الشدِّ البيئى ووسائل الحد من أضرارها (حسن ٢٠١٧).
- تحديات إنتاج وتصدير الطماطم ووسائل التغلب عليها (حسن ٢٠١٨).
- القرعيات: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها (حسن ٢٠٢٠).
- البطاطس: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها (حسن ٢٠٢١).
- الثوميات: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها (حسن ٢٠٢٢).

ويمكن الإطلاع على تلك الكتب وعلى غيرها من مؤلفاتى العلمية بالرجوع إلى صفحتى على جوجل:

https://sites.google.com/view/prof-ahmed-hassan-site/home

أ.د. احمد عبدالمنعم حسن

محتويات الكتاب

صفحة

صفحة

الفصل الثانى

الفصل الثالث

الفصل الرابع

صفحة

الفصل الخامس

وسائل التغلب على شدِّ الملوحة ٥٧

صفحة

صفحة

صفحة

الفصل السابع

وسائل التغلب على شدِّ الجفاف ٩٧

صفحة

الفصل الثامن

الفصل التاسع

الفصل العاشر

صفحة

تمهيـد

إلى جانب التأثيرات السلبية الكثيرة لعوامل الشد (أو الإجهاد) البيئى على النباتات، فإن لها مزايا كثيرة تتعلق – خاصة – بصفات الجودة وبتمثيل مركبات الأيض الثانوية ذات الأهمية الطبية لما لها من تأثير على صحة الإنسان. فمثلاً.. أحدث الرى بالتنقيط – مقارنة بالرى السطحى – تحسنًا فى صفات جودة ثمار الطماطم تمثل فى تحسين الصلابة، و *b، والليكوبين، والبيتاكاروتين، والفينولات الكلية. وكان مرد ذلك إلى أن خفض مستوى الرطوبة فى التربة أحدث زيادة فى الإجهاد البيئى تمثل فى خفض محتوى التربة الرطوبى، ورفع لحرارة الهواء، وزيادة فى الفرق بين حرارة النهار والليل، وكان ذلك الإجهاد مسئولاً عن التحسن الذى حدث فى صفات جودة الثمار (Li وآخرون ٢٠٢١).

وللعوامل البيئية تأثير قوى على الحرافة فى الفلفل، لدرجة أن تأثيرها قد يزيد عن ٦٠٠٠ وحدة اسكوفل، وهو ما قد يزيد عن الاختلافات الوراثية بين بعض الأصناف؛ الأمر الذى يكون له أهميته عند الإنتاج التجارى للتصنيع (Harvell & Bosland ١٩٩٧).

ومن المعروف أن الرياح القوية تُثبط النمو النباتى بما تُحدثه من شدٍ ميكانيكى وزيادة فى الفقد المائى جرَّاء زيادة النتح. وبدراسة دور الأشعة تحت الحمراء فى هذا الشأن على بادرات الخيار، وُجد أن التفاعل بينها وبين سرعة الرياح يؤثر فى النمو النباتى؛ حيث أدت الريح القوية (٦,٥ م/ثانية) فى وجود أشعة تحت حمراء (+FR) – وليس فى غيابها (-FR) – إلى تقليل نمو البادرات. ولقد أحدثت الرياح القوية تأثيرها جراء خفضها لصافى البناء الضوئى (NAR)، ونسبة المساحة الورقية (LAR)، وربما كان النقص فى الـ LAR مرده إلى إن الرياح القوية قللت من توزيع ناتج البناء الضوئى على الأوراق، كنتيجة لزيادة توزيعها على الساق لمقاومة الشد الميكانيكى الذى

أحدثته الريح القوية. هذا.. ولم تؤثر الريح القوية على توزيع ناتج البناء الضوئى فى غياب الأشعة تحت الحمراء، وربما كان مرد ذلك إلى أن الشد الميكانيكى الذى أحدثته الريح القوية كان أقل حينما انخفضت استطالة الساق فى غياب الأشعة تحت الحمراء. هذا.. وقد انخفض توصيل الثغور جراء الريح القوية، وكان هذا الانخفاض أقل فى ظل FR- عما كان فى ظل FR+ (Shibuya وآخرون ٢٠٢٢).

هذا.. وتُشكل طبقة البيريدرم periderm — كما فى درنات البطاطس — حائط الصد الأول لحمايتها من عوامل الشدّ البيئى والبيولوجى. وللتفاصيل المتعلقة بهذا الأمر.. يُراجع Singh وآخرين (٢٠٢١).

ويُعد التعرض للكهرباء نوعًا من الشد البيئى، ولتعريض البذور للكهرباء تأثير متبق على النمو النباتى، ولتعريض النباتات تأثير على البناء الضوئى، ويمكن أن تنشط تلك المعاملة أنظمة الدفاع النباتى بمضادات الأكسدة، كما يمكن للمعاملة تغيير تمثيل نواتج الأيض فى النباتات.

وللتفاصيل المتعلقة بتأثير الكهرباء — بما فى ذلك الحقول الكهربائية القوية والضعيفة — والحقول المغناطيسية، والتيارات الكهربائية على نمو النباتات وتطورها.. يُراجع Dannehl (٢٠١٨).

ولقد أدت معاملة بذور البطيخ بالماء المحلل كهربائيًّا والحامضى قليلاً slightly acidic electrolyzed water (اختصارًا: SAEW) إلى تحسين إنباتها، وكان ذلك مُصاحبًا بخفض فى تراكم حامض الأبسيسك فى البذور، وحث لفاعلية الجينات ذات العلاقة بهدم حامض الأبسيسك. هذا.. فى الوقت الذى أدت فيه معاملة البذور بالـ SAEW إلى زيادة محتواها من حامض الجبريلك، وإلى تثبيط تراكم العناصر المحبة للأكسدة ROS فيها. وكان تأثير المعاملة على إنبات البذور مماثلاً لتأثير المعاملة بالداى ميثيل ثيوريا dimethyl thiourea، وهى مثبط للـ ROS (Wu وآخرون ٢٠٢٢).

ويُعد الرش بمعلق طين الكاولين kaolin استيراتيجية واعدة للتغلب على حالات الشدِّ البيئى؛ فهو يؤثر على درجة حرارة النباتات، وانعكاس الإشعاع، وتركيب الأوراق، والحالة المائية، والقدرة على البناء الضوئى، والاستجابات الكيميائية الحيوية، والمحتوى المعدنى، والنمو، والمحصول، والجودة. وللتفاصيل المتعلقة بهذا الأمر.. يُراجع Brito وآخرين (٢٠١٩).

ومن المعروف أن الـ mycosporine-like amino acids (اختصارًا: MAAs) توفر حماية للكائنات المائية من الأشعة فوق البنفسجية، وقد دُرس تأثير المعاملة بمستحلب دهنى يحتوى على MAAs قبل الحصاد على الحماية من لفحة الشمس، واستخدم لذلك مستحلب يحتوى على شمع الكارنوبا carnauba wax، وأيدروكسيد الأمونيوم؛ حيث كان ثابتًا ومشابهًا للشمع التجارى، واستُخدم المنتج التجارى Helioguard™365 كمصدر للـ MAA بتركيزات تراوحت بين ١٪، و٢٪ (حجم/حجم). ولقد وُجد أن دمج الـ MAA بالمستحلب لم يؤثر على ثباته؛ ووفر زيادة فى ادمصاص الأشعة فوق البنفسجية ب UV-B بقمة عند طول موجى تراوح بين ٢٨٠، و٣٠٠ نانوميتر؛ ومن ثم فإن المستحلب المحتوى على MAAs يمكن استعماله كحاجز كيميائى للحماية من لفحة الشمس فى الخضر (Pedrosa وآخرون ٢٠٢١).

وتلعب بكتيريا المحيط الجذرى المتحملة لظروف الشدِّ البيئى دورًا هامًّا ضد حالات الشدِّ البيئى، وذلك بتحفيزها للنمو النباتى. ولهذه البكتيريا خصائص محفزِّة للنمو النباتى، مثل تمثيل الهرمونات، والـ 1-aminocyclopropane-1-carboxlate deaminase، و indole-3-acetic acid، و abscisic acid، وتثبيت آزوت الهواء الجوى، وإذابة الفوسفور والبوتاسيوم (Kumar وآخرون ٢٠١٩).

وعلى الرغم من مئات الدراسات التى تؤكد على دور السيليكون فى التغلب على مختلف عوامل الشدِّ البيئى والحيوى ونمو وتطور النباتات، فإن السيليكون لم يُستخدم إلى الآن بصورة روتينية فى الإنتاج النباتى لتحقيق تلك الفوائد من المعاملة به. وقد عدَّدَ

Zellner وآخرون (٢٠٢١) الأسباب المحتملة لهذا الإحجام عن المعاملة بالعنصر على نطاق روتينى واسع.

ولقد أخذ الميلاتونين melatonin (وهو إندول أمين اسمه الكيميائى: N-acetyl-5-methoxytryptamine) اهتمامًا متزايدًا فى البحث النباتى لما يلعبه من أدوار متعددة فى النظام النباتى. فلقد عدَّل الميلاتونين من كفاءة الحدِّ من العناصر المحبة للأكسدة ونشط الاستجابات الدفاعية المضادة للأكسدة للتأقلم على حالات الشدِّ البيئى (شد الحرارة والبرودة والجفاف والملوحة)، والبيولوجى (الفطريات والفيروسات والبكتيريا والحشرات). ومن ذلك تفاعل الميلاتونين مع الهرمونات النباتية الأخرى فى تنظيم شد الجفاف والإصابات الفيروسية، كما يفيد فى زيادة كفاءة المبيدات الفطرية؛ مما يجعل من الممكن الحد من استخدامها، وفى تحفيز النمو النباتى (Tiwari وآخرون ٢٠٢٠).

ويتواجد الميلاتونين — وهو المستمد من التربتوفان tryptophan — فى مدى واسع من الأنواع من البكتيريا إلى الثدييات، وهو مركب غير سام، ويلعب دورًا أساسيًّا فى الدورة الحيوية اليومية circadian rhythm، والنشاط المضاد للأكسدة، والتحفيز المناعى فى الحيوانات، والبناء الضوئى وإنتاج الكتلة البيولوجية والتنظيم الأسموزى أثناء الاستجابة لحالات الشد البيئى والبيولوجى فى النباتات. ولقد اكتُشِف تواجد الميلاتونين فى النباتات البستانية لأول مرة فى نبات مجد الصباح اليابانى *Pharbitis nil* سنة ١٩٩٣. وقد لخص Wu وآخرون (٢٠٢١) مسارات تمثيل الميلاتونين من التربتوفان فى النباتات، وتأثيراته على النباتات، ودوره فى نموها وتطورها، والجودة بعد الحصاد، وتحمل ظروف الإجهاد البيئى والبيولوجى، وإمكانيات المعاملة به فى مجال البساتين.

ويذكر إن الميلاتونين melatonin يتواجد على نطاق واسع فى النباتات والحيوانات، ويعد منشطًا حيويًّا لنمو النباتات وتطورها ويجعلها أكثر تحملاً لعوامل الشدِّ البيئى. ولقد تناول Zhao وآخرون (٢٠٢٢) هذا الموضوع بالتفصيل فى مقال مرجعى.

كذلك تناول Pols وآخرون (٢٠٢٢) فى مقال مرجعى الأهمية التى يلعبها غاز أكسيد النيتريك NO (الذى يُعد من ملوثات الهواء الجوى).. أهميته كجزيئ هام فى تنظيم الاستجابة لكلٍ من الشدّ البيئى والبيولوجى، وعلاقته بمختلف الهرمونات النباتية، ودوره المهم فى المحافظة على القدرة التخزينية بعد الحصاد.

هذا.. ومن المعروف أن جينات Cathepsin-B-like protease 2 (اختصارًا: Cath B2) تُسهم فى الموت المبرمج للخلايا كعنصر حاسم فى تطور آليات الدفاع النباتى فى ظروف الشدّ البيئى والبيولوجى. ولقد دُرس جينان منها، هما: SlCath B2-1، و SlCath B-2، ووُجد أنهما يستجيبا لكلٍ من شد الحرارة العالية، والجفاف، وحامض الأبسيسك، وحامض السلسيلك، وبخاصة شدّ الحرارة. وكانت تلك الجينات أكثر استثارة فى الطماطم الحساسة للحرارة عن الطماطم المتحملة لها، بينما لم تُستثر جوهريًا فى الطماطم متوسطة التحمل للحرارة فى ظروف كلٍ من الحرارة العالية باعتدال (٣٣/٣٣°م نهارًا/ليلاً) والحرارة العالية بشدة (٤٠/٤٠°م) (Wen وآخرون ٢٠٢١).

الفصل الأول

شــدّ البـــرودة

التأثيرات الفسيولوجية لشدّ البرودة

أدى تعريض بادرات الخيار لحرارة ٢,٥ °م إلى توقف فورى فى استطالة الجذير وإلى زيادة مستويات الـ DNA methylation. وأدت التدفئة إلى استعادة جزئية للـ methylation التى أحدثها شدّ البرودة إلى نفس المستوى الذى كانت عليه قبل التعرض لشدّ البرودة، ومع استئناف لنمو الجذير، لكن لنمو ١٨,٦٪ فقط من نموه بدون شدّ البرودة. كذلك لوحظ استئناف لاستطالة الجذير أثناء وبعد معاملة البرودة عندما عُومِل الجذير بالـ 5-azacytidine (اختصارًا: AZA)، وهو مُثبِّط للـ methylation (Chen وآخرون ٢٠١٩).

وبدراسة تأثير خفض الحرارة من ١٥ °م إلى الحرارة الأقل من المثلى ١٠ °م على نمو وتطور البسلة، وجد أنها تقلل جوهريًّا من الوزن الجاف للنبات، ولكن مع زيادة فى نسبة المادة الجافة للجذور إلى المادة الجافة للنبات كله. كذلك انخفض الطول الكلى للجذور جوهريًّا، وذلك بسبب انخفاض فى طول الجذور الجانبية، بينما لم يكن للحرارة المنخفضة تأثيرًا على طول الجذر الوتدى. وكان للتأثير الإيجابى للحرارة المثلى على طول الجذور وكثرة الجذور الجانبية تأثيره الإيجابى — بدوره — على القدرة على امتصاص العناصر (Balliu & Sallaku ٢٠٢١).

هذا.. يتراكم حامض الجاسمونك والبوترسين — وكلاهما من متعددات الأمين الرئيسية — فى نباتات الطماطم لدى تعرضها لشدّ البرودة. ولقد وُجد أن حامض الجاسمونك يزيد تراكم البوترسين وتحمل النباتات لشدّ البرودة، بينما يؤدى تثبيط فعل حامض الجاسمونك إلى خفض تراكم البوترسين. وتبين أن تنظيم تمثيل البوترسين الذى يُنَظَّم بفعل حامض الجاسمونك يخفف شد الأكسدة الذى يُحدثه شدّ البرودة (Ding وآخرون ٢٠٢١).

وكان لمعاملة تعريض بادرات الكنتالوب لشدِّ برودة (١٠/١٥ °م، نهار/ليل لمدة خمسة أيام) تأثيرًا قصير المدى تمثَّل فى حث إنتاج البرولين الحر (حتى ١٧٩٫٥٪)، وتراكم السكر الذائب (حتى ١٨١٫٤٪)، وإتلاف الأغشية الخلوية، وتثبيط تمثيل الكلوروفيل ونشاط البناء الضوئى II. كما كان للمعاملة تأثيرًا بعيد المدى تمثل فى تثبيط ارتفاع النبات، وتأخير ظهور أول الأزهار المؤنثة، لكن مع تحفيز زيادة فى قطر الساق. وربما كان البرولين والسكريات الذائبة المتراكمة المركبات المفتاحية فى تأقلم الكنتالوب على شدِّ البرودة (Li وآخرون ٢٠٢٢).

وقد رؤى إنه عند اتباع طرق الحماية من الحرارة المنخفضة فى الزراعات المحمية للفراولة تجب المحافظة على بقاء حرارة الأوراق أعلى عن —٥ °م لأجل المحافظة على المستوى العالى من نشاط البناء الضوئى؛ بما يسمح بإطالة موسم النمو (Maughan وآخرون ٢٠١٥).

وسائل التغلب على شدِّ البرودة

معاملات البذور

أدت معاملة بذور الفلفل بالشيتوسان أو بالترطيب المائى hydropriming إلى تحفيز سرعة الإنبات، وزيادة معدل نمو البادرات وبزوغها فى شدِّ البرودة. وأدت معاملة الشيتوسان إلى زيادة نشاط إنزيم الشيتينيز فى البذور والبادرات. كذلك أدت كل معاملات البذور بالشيتوسان، أو بحامض الخليك، أو بالبينوميل Benomyl، أو بالماء المقطر — ثم تجفيفها إلى مستوى رطوبتها الابتدائى — إلى إحداث زيادة جوهرية فى نشاط إنزيم الجلوكانيز glucanase. وربما تفيد زيادة نشاط الشيتينيز والجلوكانيز فى البذور والبادرات فى حماية البادرات من الإصابة بالأمراض الفطرية — بحثها للمقاومة الجهازية المكتسبة — وذلك فى ظروف البرودة والرطوبة الأرضية العالية (Samarah وآخرون ٢٠٢٠).

الاختيار المناسب لحجم أوعية الزراعة

تؤدى زراعة الطماطم فى أوعية صغيرة (سعة ٣ لترات، مقارنة بسعة ٦ أو ١٠ لترات) إلى زيادة خصوبة حبوب اللقاح التى تُنتجها تلك النباتات فى الحرارة المنخفضة

(٢٠/٤ °م، و٢٥/١٠ °م نهارًا/ليلاً). وقد ظهر ذلك جليًّا بحدوث زيادات معنوية فى إنبات حبوب لقاح تلك النباتات فى البيئات الصناعية، وفى صبغها بالأسيتوكارمن، وفى عدد حبوب اللقاح المنتجة بكل زهرة (Daminguez وآخرون ٢٠٠٢).

التطعيم على الأصول المناسبة

أظهرت الدراسات أن تطعيم الطماطم على أصل من النوع البرى *S. habrochaites* يُكسبها حماية من شدِّ البرودة؛ مما يسمح بالزراعة الحقلية المبكرة، ويقلل من كلفة الطاقة فى الزراعات المحمية. ولقد دُرس تأثير تطعيم الطماطم من الصنف الحساس للبرودة منى ميكر Money Maker على ثلاثة أصول، هى: Multifort (وهو هجين نوعى *S. lycoperscum × S. habrochaites*)، وصنف الطماطم Shield، والسلالة LA 1777 من *S. habrochaites*، مع تعريض النباتات لحرارة ١٥ °م ليلاً ونهارًا، ووُجد أن الأصل Multifort قلل من آثار شدِّ البرودة، وتمثل ذلك فى زيادة مساحة الورقة، وزيادة مستوى تمثيل ثانى أكسيد الكربون وكفاءة البناء الضوئى. تميز الأصل Multifort بمجموعه الجذرى الكبير، وتمثل ذلك فى زيادة أطوال جذوره الدقيقة الأقل من ٠,٥ مم فى القطر بنسبة ٤٢٪ إلى ٥٦٪ عما فى حالة الأصول الأخرى (Suchoff وآخرون ٢٠١٨).

الرى بالرش

يُعد الرى بالرش أكثر وسائل الحماية من الصقيع كفاءة، وهو أمر يتطلب التوقيت الجيد وأن يُغطى ماء الرش النباتات بصورة تامة. ويجب ألاّ تزيد المسافة بين الرشاشات عن ٦٠٪ من قطر دائرة الرش المبتلة، وأن تُثبَّت الرشاشات على مسافة من حافة الحقل لا تزيد عن ٥٠٪ من قطر دائرة الرش المبتلة. ويجب أن تقوم بشابير الرش بما لا يقل عن دورة كاملة فى الدقيقة وأن يتراوح تصرفها بين ٠,٣، و ٠,٤ سم من الماء/ ساعة. يجب أن يبدأ عمل الرشاشات قبل انخفاض الحرارة إلى الصفر المئوى (مثلاً عند ١ °م) وأن تستمر فى الرش حتى ارتفاع الحرارة عن الصفر المئوى وبدء ذوبان الثلج (عن UG ١٩٩٠).

الرش بسلفات البوتاسيوم

من بين عدة أصناف من الطماطم اختُبرت لتحمل الصقيع، وُجد أن الصنف VT-1770 كان أكثرها تحملاً، والصنف الهجين Safir أقلها. كذلك تبين أن رش بادرت هذين الصنفين مرة واحدة بسلفات البوتاسيوم بتركيز ١٪ وفر حماية عالية من الصقيع بعد ٢٤، و٧٢ ساعة من المعاملة، بينما فقدت معاملة الرش فاعليتها بعد ١٢٠ ساعة (Donderalp & Dursun ٢٠٢٢).

التسميد الجيد بالكالسيوم

من المعروف أن التسميد الجيد بالكالسيوم يُحفِّز تحمل النباتات لمختلف عوامل الإجهاد البيئي. وقد وُجد أن تسميد السبانخ الإضافي بالكالسيوم لم يحد من نمو الورقة (مساحة الورقة)، لكنه أحدث زيادة طفيفة في نسبة الوزن الجاف للنبات إلى وزنه الطازج، مقارنة بمعاملة الكنترول. وقد حسَّنت المعاملة جوهريًا من تحمل البادرات للتجمد (على -٥,٥ إلى -٦,٥ °م) كما تبين من خفضها للتسرب الأيوني (K^+، و Mg^{2+}، والأيونات الكلية)؛ مما يدل على انخفاض الضرر للأغشية الخلوية، كما أدت المعاملة — كذلك — إلى التخفيف من الشدِّ التأكسدي (بانخفاض تراكم O_2، و H_2O_2)، وتحسين كفاءة الـ PSII potential كما وضح من فلورة الكلوروفيل، وإلى حدوث تحسُّن في نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: السوبر أوكسيد ديسميوتيز، والكاتاليز، والأوسكربيت أوكسيديز (Min وآخرون ٢٠٢١).

الأقلمة على البرودة بالتعريض للبرودة المعتدلة ولشد الجفاف

أدت أقلمة نباتات البطيخ للبرودة بتعريضها لحرارة أقل من المثلى إلى اكتسابها تحملاً لشدِّ البرودة بحدوث انخفاض في التسرب الأيوني وفي تراكم الـ malondialdehyde، مقارنة بما حدث في النباتات التي لم تؤقلم. ولقد قلّ تثبيط البناء الضوئي والانخفاض في معدل استيعاب ثاني أكسيد الكربون الناشئان عن التعرض لشدِّ البرودة، وذلك بالأقلمة في حرارة أقل من المثلى. ولقد أدت الأقلمة إلى تنظيم القدرة الأسموزية؛ الأمر الذي وفر حماية

من أضرار البرودة لتسببها فى تراكم لمركبات صغيرة التركيب الجزيئى، مثل السكريات الذائبة والبرولين (Lu وآخرون ٢٠٢٠).

وأظهرت دراسة أُجريت على الفراولة أن الحرارة المنخفضة وشد الجفاف هما مكونان مفتاحيان فى الأقلمة على البرودة؛ فالحرارة المنخفضة تُحدث دائمًا شدًّا مائيًّا فى النباتات. وبعد أسبوعين من التعرض لحرارة ١/٣ ْم (نهار/ليل) انخفض الجهد المائى بالأوراق بوضوح إلى -١,٦ ميجا باسكال. وبينما يُسهم كلا المكونين (الحرارة المنخفضة وشد الجفاف) جوهريًّا فى حث تحمل التجمد، فإن الشدِّ المائى هو العامل السائد المستحِث لتحمل التجمد، حيث يُسهم بنحو ٥٦٪ من التحمل المُتحصل عليه بأقلمة البرودة. ولقد أدت أقلمة البرودة لمدة أسبوعين إلى زيادة القدرة على تحمل التجمد بما مقداره ١٤ ْم إلى -٢٠,٧ م، بينما لم تؤدِ نفس المعاملة - فى غياب الشد المائى إلاّ إلى زيادة التحمل بما مقداره ٥ ْم فقط؛ بما يعنى أهمية الشدِّ المائى الذى يحدث أثناء أقلمة البرودة (Rajashekar & Panda ٢٠١٤).

وقد دُرس تأثير تعريض شتلات الطماطم لشد جفافى (تمثَّل فى معاملتها بالبوليثيلين جليكول PEG بنسبة صفر أو ١٠٪ أو ٢٠٪ لمدة سبعة أيام) على تأثرُها بشد برودة (تمثَّل فى تعريضها لحرارة ٣ ْم لمدة ست ساعات على مدى ستة أيام)، وأوضحت النتائج أن الشدِّ الجفافى المحدَث بالمعاملة بالـ PEG حسَّنَ من نمو بادرات الطماطم التى عُرِّضت لشدِّ البرودة، وحفَّز فيها نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، مع زيادة فى محتواها من كلٍ من حامض الأبسيسك والأنثوسيانين والبوتاسيوم والبرولين مقارنة بما حدث فى معاملة الكنترول (صفر٪ PEG) وذلك فى نهاية فترة التعريض لشد البرودة. ولقد أحدثت معاملة الـ PEG التى سبقت التعريض البرودة حماية جوهرية من شدِّ البرودة وقللت من كلٍ من نشاط البولى فينول أوكسيديز، والتسرب الأيونى، ومحتوى فوق أكسيد الأيدروجين بجذور وأوراق البادرات التى عُرِضّت لشدِّ البرودة. كذلك أدت المعاملة المتزامنة - أى فى نفس الوقت - بكلٍ من الـ PEG وشد البرودة إلى التغلب على ضعف النمو وإلى انخفاض فى أعراض شدِّ البرودة مقارنة بما

حدث فى بادرات معاملة الكنترول. وقد تحققت أعلى حماية من شدِّ البرودة بالمعاملة بتركيز ٢٠٪ من الـ PEG (Ghanbari & Sayyari وآخرون ٢٠١٨).

التخلص من النموات الخضرية للأسبرجس فى الخريف

يكتسب الأسبرجس القدرة على تحمل التجمد – طبيعيًّا – خلال فترة من الأقلمة فى الخريف عندما تقصر الفترة الضوئية، وتنخفض درجة الحرارة. وقد وُجد أن معاملات التخلص من النموات الخضرية فى العام الثانى للزراعة خفَّضت من قيم الـ LD_{50}، وهى الحرارة التى يموت عندها ٥٠٪ من النباتات؛ أى زادت من القدرة على تحمل الصقيع؛ الأمر الذى ربما قد حدث جرَّاء تفاعل بين عملية التخلص من النمو الخضرى والجفاف أدى إلى زيادة محتوى الريزومات من السكروز. ولقد قلل التخلص من النمو الخضرى من قوة النمو فى الربيع وتناسبت الاستجابة مع التبكير فى عملية التخلص من النمو الخضرى، وتواكبت مع مستويات الفرُكتان fructan فى كلٍّ من الريزوم والجذور الخازنة. ولقد احتوت تيجان النباتات التى أُزيلت نمواتها الخضرية فى منتصف أغسطس على تركيزات عالية من البرولين فى الخريف، كانت مماثلة لِما حدث فى نباتات الكنترول؛ بما يُفيد احتمال استشعار الأجزاء تحت الأرضية من النبات لحرارة التربة المنخفضة؛ مما يجعلها تتأقلم. هذا.. وعلى الرغم من أن عملية التخلص من النمو الخضرى فى الخريف تُفيد فى مكافحة الأمراض، وحصاد البذور، وتسهيل العمليات الزراعية الأخرى، إلاّ إنها تقلل من قوة النمو، وتُساعد فى تقليل الأداء طويل المدى لمزرعة الأسبرجس (Nolet & Wolyn ٢٠٢٠).

المعاملة بالترايكودرما

أدى تلقيح الطماطم بالسلالة AK 20G من الترايكودرما *Trichoderma harzianum* ثم تعريضها لشد برودة إلى تجنيبها لأضرار شدِّ البرودة وتحفيزها لمعدلى البناء الضوئى والنمو. ولقد أدت معاملة الترايكودرما إلى خفض الـ lipid peroxidation والتسرب الأيونى مع زيادة فى المحتوى الرطوبى بالأوراق وتراكم البرولين. وتجدر الإشارة إلى أن المعاملة حسَّنت من تعبير TAS14، و P5CS ، كما ازداد تعبيرهما مع الوقت خلال فترة الدراسة (Ghorbanpour وآخرون ٢٠١٨).

المعاملة بالميكوريزا

أدت معاملة نباتات الفاصوليا بالميكوريزا *Glomus intraradices* فى ظروف نقص الفوسفور (وليس زيادته؛ حيث لا تستعمر الميكوريزا جذور الفاصوليا فى ظروف زيادة الفوسفور).. أدت إلى تحسين الوضع المائى بالنبات أثناء شدِّ البرودة، وكان هذا التأثير أكثر وضوحًا فى ظروف شدِّ الجفاف كذلك (El-Tohamy وآخرون ١٩٩٩).

وأحدث تعريض نباتات الباذنجان لحرارة منخفضة (١٥ أو ٥ °م) تأثيرات سلبية عديدة فسيولوجية ومورفولوجية، إلاّ إن التلقيح بأربعة أنواع من الميكوريزا (هى: *Funneliformis mosseae*، و *Claroideglomus etunicatum*، و *Rhizophagus irregularis*، و *D. versiformis*) ساعد فى التغلب على شدِّ البرودة بتحسين التفاعلات الكيميائية الضوئية، وتنشيط الدفاع النباتى المضاد للأكسدة، وتراكم المركبات الحامية، وتقليل الأضرار بالأغشية الخلوية، وكان النوع *D. versiformis* أقلها تأثيرًا فى التغلب على أضرار شدِّ البرودة؛ نظرًا لعدم قدرته على العمل على تراكم المواد الحامية، وخاصة البرولين والفينولات الحرة (Pasbani وآخرون ٢٠٢٠).

المعاملة بمنشطات حيوية تجارية

أدى الرش الورقى لبادرات الطماطم النامية فى حرارة ١٠، أو ٢٥ أو ٣٥°م فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الرابعة بأى من المنشطات الحيوية التجارية: Boosten، و Megafol، و Isabion (بتخفيف ١: ٥٠٠) .. أدى إلى تحفيز تراكم الكتلة البيولوجية بدرجات مختلفة فى كلٍّ من شدِّ البرودة (١٠ °م) وشدِّ الحرارة العالية (٣٥°م)، مقارنة بالوضع فى الحرارة المعتدلة (٢٥ °م). وقد أسهم كل من Boosten، و Megafol جوهريًّا فى تحسين نمو الأنسجة النباتية الهوائية والجذرية، بينما أسهم Isabion فى تحسين النمو الهوائى فقط. هذا.. وكان Boosten الأكثر كفاءة فى التغلب على شدِّ الانحراف الحرارى (Niu وآخرون ٢٠٢٢).

المعاملة بحامض الجلوتامك

أدت معاملة نباتات الطماطم بحامض الجلوتامك glutamic acid إلى حمايتها من شدِّ البرودة؛ حيث لم يحدث فيها خفضًا فى كفاءة البناء الضوئى جراء شد البرودة،

كما لم يتأثر نظام الدفاع بمضادات الأكسدة، ولم يزدد فيها الـ MDA الذى يسببه شد البرودة (Lee وآخرون ٢٠٢١).

المعاملة بالميثيل جاسمونيت وحامض الجاسمونك

أدت معاملة قرون البامية بالميثيل جاسمونيت methyl jasmonate بتركيز ١٠^-٤^ إلى ١٠^-٣^ مولار لمدة ١٦ ساعة على ٢٥ °م – قبل تخزينها على ٤ °م مع ٩٠٪–٩٥٪ رطوبة نسبية – إلى خفض التسرب الأيونى منها وتأخير التغيرات فى لونها؛ أى إنها أدت إلى الحد من أضرار البرودة؛ الأمر الذى ربما كان مرده إلى منع المعاملة لتأكسد الدهون الذى يُستحث بالبرودة (Boontongto وآخرون ٢٠٠٧).

وقد وُجد أن الجين SlGSTU24 فى الطماطم (وهو JA-responsive S-transferase gene) يعمل على الحد من أضرار البرودة، ويستجيب لكلٍ من المعاملة بحامض الجاسمونك وشد البرودة. ولقد أحدثت المعاملة بالمثيل جاسمونيت MeJA زيادة واضحة فى تعبير الجين، مع خفض لمحتوى الـ MDA والتسرب الأيونى فى أوراق الطماطم تحت ظروف شدِّ البرودة (Ding وآخرون ٢٠٢٢).

المعاملة بالبراسّينوستيرويدات

تُفيد المعاملة بالبراسينوستيرويدات brassinosteroids فى حماية النباتات من مختلف حالات الشدِّ البيئى. ولقد أفادت المعاملة بالـ 24-epibrassinolide (اختصارًا: EBR) فى حماية بادرات الباذنجان من شدِّ البرودة من خلال عدة آليات؛ فقد أدت المعاملة رشًّا بتركيز ٠,١ ميكرومول قبل ٢٤ ساعة من التعريض لحرارة ١٠/٥ °م (نهار/ليل) لمدة ثمانية أيام إلى التغلب جزئيًا على تثبيط النمو الذى أحدثه شد البرودة، وكان للمعاملة تأثيرًا جوهريًا على البناء الضوئى بالزيادة، مع زيادات فى تركيز كلوروفيل أ، وكلوروفيل ب والكلوروفيل الكلى، وصافى معدل البناء الضوئى، وتوصيل الثغور، كما تغلبت المعاملة على أضرار الشد التأكسدى الذى تُسببه البرودة بحدوث انخفاض فى تركيز المركبات المحبة للأكسدة وفى أكسدة الأغشية الخلوية، مع حدوث

زيادات فى نشاط إنزيمات: السوبر أوكسيد ديسميوتيز، والجوايكول بيروكسيديز والـ guaicol peroxidase، والكاتاليز، والأسكوربيت بيروكسيديز، وفى تركيز كل من حامض الأسكوربيك والجلوتاثيون المختزل والبرولين (Wu وآخرون ٢٠١٥).

المعاملة بالـ sodium nitroprusside

أحدثت الحرارة المنخفضة (١١/٧°م: نهار/ليل) زيادة فى تراكم أكسيد النيتريك NO فى بادرات الخيار؛ مما تسبب فى حدوث أضرار جوهرية لعملية البناء الضوئى بالأوراق، كما وضَحَ من الانخفاض فى صافى معدل البناء الضوئى، وتوصيل الثغور، والمحتوى الكلوروفيللى وغيرها من عمليات البناء الضوئى الحيوية، فضلاً عن حدوث زيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون بين الخلايا. هذا إلاّ إن المعاملة بالـ sodium nitroprusside — الذى يُطلِق NO — تغلبت على التأثيرات السلبية للحرارة المنخفضة؛ حيث أدت إلى زيادة محتوى النشا والسكروز والجلوكوز والفراكتوز والسكر الذائب والسكر المختزل وتأثيرات أخرى حيوية كثيرة. وبدا أن أيون الكالسيوم أسهم فى تحمل البرودة الذى أحدثته المعاملة بالـ NO بتعديل التبادل الغازى بالأوراق وأيض الكربوهيدرات وتعبير الجينات ذات الصلة بتمثيل الكلوروفيل (Zhang وآخرون ٢٠٢٠).

المعاملة بالميلاتونين

تُفيد المعاملة بالميلاتونين melatonin فى التغلب على أضرار البرودة، كما يمكن الاستفادة من تلك المعاملة كإستراتيجية لتحسين تحمل البرودة.

فقد أدت معاملة نباتات الطماطم بالميلاتونين إلى خفض محتوى الـ molondialdehyde ذات العلاقة بسلامة الأغشية الخلوية، والتسرب الأيونى، مع زيادة فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وفى مستوى مضادات الأكسدة غير الإنزيمية فى ظروف شدِّ البرودة. كذلك حفزَّت المعاملة تعبير الجينات التى تستجيب لشدِّ البرودة متضمنة SICE، و SICBF؛ و SIP5CS تحت ظروف شدِّ البرودة، وحدث حثٌّ واضح لنشاط الجين SISBP الذى يُشفر لتمثيل إنزيم فى الـ calvin

cycle، هو: sedoheptulose-1,7 biophosphatase (اختصارًا: SBPase)، وذلك في النباتات التى عُومِلت بالميلاتونين فى ظروف شدِّ البرودة. وأظهرت التحاليل زيادة مستوى متعددات الأمين والسكروز، والبرولين فى النباتات التى عُومِلت بالميلاتونين (Ding وآخرون ٢٠١٧).

ولقد عُوملت بادرات ونباتات الفلفل المزهرة بالميلاتونين بتركيز ٠,٥ ميكرومول سقيًّا للتربة، ثم عُرِّضت لشد برودة (٥/١٠ ْم، ليلاً/نهارًا) لمدة ثلاثة أيام. أدت معاملة الميلاتونين إلى خفض الأضرار المنظورة للبرودة، مع زيادة المساحة الورقية وكتلة النمو الخضرى للبادرات. كما حسَّنت معاملة الميلاتونين — كذلك — من العلاقات المائية، ودلائل البناء الضوئى، ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، مع خفض لمحتوى الـ malondialdehyde، وفوق أكسيد الأيدروجين، ونفاذية الأغشية الخلوية. وعندما كانت المعاملة بالميلاتونين فى مرحلة الإزهار، فإنها أدت إلى مضاعفة المحصول المبكر، مع زيادة طفيفة فى المحصول الكلى (Korkmaz وآخرون ٢٠٢١).

وأدى رى نباتات الخيار بمحلول ميلاتونين بتركيز ٢٠٠ ميكرومول قبل تعريضها إلى شدِّ برودة.. أدى ذلك إلى الحد من حالة تثبيط البناء الضوئى photoinhibition — التى أحدثتها حالة شد البرودة — وذلك بتنظيم المعاملة لدورة كالفن—بنزون – Calvin Benson (Zhao وآخرون ٢٠٢٢).

الفصل الثانى

شدِّ الحرارة العالية

التأثيرات الفسيولوجية لشد الحرارة العالية

التأثير على النمو الخضرى، والإزهار، وعقد الثمار، والمحصول

الفلفل

يؤدى التعرض للحرارة العالية – خاصة حرارة الليل عند ارتفاعها لنحو ٣٢– ٣٨ ْم – إلى سقوط أزهار الفلفل دون عقد. ويؤدى انخفاض الحرارة ليلاً إلى ١٦–٢١ ْم إلى ارتفاع واضح فى نسبة العقد.

وكما فى الطماطم.. يوجد فى الفلفل أصناف يكون فيها القلم داخل المخروط السدائى وأخرى يرتفع فيها مستوى الميسم أعلى قمة المتوك؛ مما يؤثر فى العقد. وتحدث الحالة الأخيرة – خاصة –فى الطرز البرية، وتقل كثيرًا فى الطرز التجارية، خاصة كبيرة الثمار منها.

ولدرجة الحرارة تأثير كبير على تكوين الثمار وحيويتها، وأفضل الحرارة لذلك هى ٢٠–٢٥ ْم (Bosland & Votava، ٢٠٠٠).

وتسقط الأزهار فى الفلفل – غالبًا – نتيجة لتعرضه لظروف شد بيئى، مثل الشدّ الحرارى (حرارة تزيد عن ٣٥ ْم)، وشدّ البرودة (حرارة تقل عن ١٠ ْم)، والشدّ الجفافى، والتظليل (كما قد يحدث فى الزراعات المحمية)، والحمل المحصولى الغزير الزائد عن قدرة النبات على حمل المزيد. كذلك فإن بعض الإصابات الحشرية والفيروسية تُسهم فى سقوط الأزهار.

ويحدث سقوط الأزهار فعليًّا بسبب عدم حيوية حبوب اللقاح أو غيابها، أو عدم حيوية البويضات، وتلك تشوهات تحدث نتيجة الشدّ أو التعرض للمشاكل الحشرية والمرضية.

وتزيد كفاءة التلقيح فى ساعات الصباح، وتنخفض بعد الظهيرة حينما تزداد حالات الشدِّ الحرارى وشدِّ الجفاف (UG ٢٠٠٩).

ومن ناحية أخرى.. فإن تعريض نباتات الفلفل لحرارة ٤٣ °م لم تُحدث أى شدٌ حرارىّ يُذكر. وفى الحقيقة.. فإن معاملة الحرارة العالية عززت من البناء الضوئى وتركيز النترات بالنبات، وخاصة عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى نفس الوقت (Pérez-Jiménez وآخرون ٢٠١٩).

ولقد أدى تعريض نوعان من الفلفل — أحدهما حلو والثانى حار — للمعاملة بفوق أكسيد الأيدروجين أو كلوريد الكالسيوم مع حرارة عالية قدرها ٤٠ °م ± ٢ °م إلى حدوث زيادة فى دلائل الشدِّ الحرارى فيهما، تمثل فى كلٍّ من الـ MDA، والـ H_2O_2، والتسريب الأيونى، وقدرة تضادية الأكسدة، والمحتوى الفينولى، وفلورة الكلوروفيل فى ظروف الشدِّ الحرارى، وكانت تلك الدلائل أكبر فى مرحلة الإزهار والإثمار مقارنة مما فى مرحلة النمو الخضرى. ولقد امتص الفلفل الحلو كميات أكبر من الكالسيوم عن الفلفل الحار فى ظروف الشدِّ. وفى كل الظروف كان الحامض الدهنى السائد فى الأوراق هو اللينولنك linolenic، لكن تغيرت نسبة الأحماض الدهنية المشبعة إلى غير المشبعة — فى ظروف الشدِّ الحرارى — حسب النوع، حيث ارتفعت النسبة فى الفلفل الحار وانخفضت فى الفلفل الحلو. وفى ظروف الشدِّ الحرارى انخفضت مستويات الجلوكوز والفراكتوز فى الأوراق، بينما أحدث فوق أكسيد الأيدروجين زيادة جوهرية فى كليهما، وكانت تلك التغيرات أكبر فى الفلفل الحلو مقارنة بالفلفل الحار (Motamedi وآخرون ٢٠١٩).

الطماطم

زادت قدرة بادرات *Solanum pimpinellifolium* على تحمل الشد الحرارى المعتدل (٣٨ °م)، وذلك بإحداث زيادة فى الـ NADPH-H_2O_2، وهو الذى خفَّض الـ ASL (الزاوية بين الساق والورقة angle between stem and leaf) وحفَّز التعبير عن

جينات الاستجابة للحرارة. هذا إلاّ إنه فى ظروف الحرارة الشديدة الارتفاع (٤٥ ْم) حدث تثبيط للـ $NADPH-H_2O_2$؛ مما أدى إلى زيادة القدرة على تحمل الحرارة العالية (Sum وآخرون ٢٠٢٠).

اللوبيا

على الرغم من أن النموات الخضرية للوبيا يمكنها تحمل حرارة تزيد عن ٤٠ ْم أثناء النهار، فإن أعضاء الزهرة الجنسية يمكن أن تُضار بشدة إذا ارتفعت حرارة الليل عن ٢٠ ْم. وإذا ما صاحبت حرارة الليل العالية فترة ضوئية طويلة فإن ذلك يثبط تطور تكوين البراعم الزهرية؛ مما يؤدى إلى إجهاضها وتأخير الإزهار، كما تؤدى تلك الظروف — كذلك — إلى الإضرار بعملية تكوين الجاميطات المذكرة؛ مما يؤثر سلبًا على حيوية حبوب اللقاح، وعقد القرون والبذور (Ehlers & Hall ١٩٩٨).

البسلة

وُجد عند تعريض نباتات البسلة لحرارة ١٨/٢٧ ْم، أو ٢٢/٢٧ ْم، أو ٢٦/٢٧ ْم (نهار/ليل) لمدة سبعة أيام خلال مرحلة الإزهار أن الزيادة فى حرارة الليل لم يكن لها تأثير جوهرى على حيوية حبوب اللقاح، أو عدد العقد المثمرة والأزهار، أو نسبة الأزهار التى فشلت فى العقد، أو عدد البذور/قرن، أو عدد البذور/نبات (Jiang وآخرون ٢٠٢٠).

الفاصوليا

أظهر تعريض سلالة الفاصوليا الحساسة للحرارة العالية A55 — مقارنة بالسلالة المتحملة G122 — لحرارة عالية قبل تفتح الزهرة بمدة ١–١٣ يومًا.. أظهر وجود اختلافات جوهرية بينهما؛ فبينما كان تكوين المتوك وحبوب اللقاح طبيعيين فى السلالة المتحملة، لم تُطلق متوك السلالة الحساسة حبوب اللقاح منها بعد المعاملة بالحرارة العالية لمدة ٩ أيام قبل تفتح الزهرة، كما احتوت تلك المتوك على حبوب لقاح غير طبيعية، وتأثرت جُدُر حبوب اللقاح بعد ١٢–١٣ يومًا من المعاملة. وإلى جانب التغيرات

المورفولوجية فإن السلالة الحساسة أظهرت ضعفًا فى حيوية حبوب اللقاح ونقصًا فى المحصول فى ظروف الحرارة العالية فى كلٍّ من اختبارات البيت المحمى والحقل (Porch & Jahn ٢٠٠١).

الفراولة

أضرت الحرارة العالية (٤٠ °م/٣٥ °م — نهار/ليل) بعملية البناء الضوئى وبإنتاجية الفراولة، مقارنة بتأثير الحرارة المعتدلة (٢٥/٣٠ °م) أو المنخفضة (١٥/٢٠ °م). وقد حافظ الصنف شاندلر على معدلات أعلى من صافى تمثيل ثانى أكسيد الكربون – لمدة خمسة أسابيع على الأقل — عن الصنف سويت شارلى؛ بما يعنى أن شاندلر يتحمل التعرض للحرارة العالية لمدة أطول عن تحمل سويت شارلى. ولقد كانت أوراق شاندلر أبرد ونتحت أكثر عن أوراق سويت شارلى؛ بما يعنى أن آليات تحمل الحرارة العالية تتباين بينهما. وكانت الحرارة المثلى للنمو الخضرى ٢٥/٣٠ °م، وأدى انخفاض معدل صافى تمثيل ثانى أكسيد الكربون فى الحرارة العالية إلى خفض فى المساحة الورقية الكلية والكتلة الحيوية لكل من النموات الجذرية والخضرية والورقية، كما كانت جذور الفراولة أكثر استجابة عن النموات الخضرية للحرارة الأعلى عن ١٥/٢٠ °م. أما محصول الثمار فكان فى الصنف شاندلر أعلى فى حرارة ١٥/٢٠ °م عما فى حرارة ٢٥/٣٠ °م. وعمومًا.. فإن حرارة ٢٥/٣٠ °م لمدة تزيد عن أسبوعين يمكن أن تضر بتكوين الأزهار. وبغض النظر عن الصنف أو مدة التعرض، فإن حرارة ٣٥/٤٠ °م تُعد شديدة الضرر بعقد ثمار الفراولة (Kadir وآخرون ٢٠٠٦ ب).

كما أدت الحرارة العالية (٢٥/٣٠ °م نهارًا/ليلاً) إلى خفض عدد النورات والأزهار والثمار فى صنفين من الفراولة — هما Nyoho، و Toyonoka — مقارنة بما حدث فى حرارة معتدلة مقدارها ١٨/٢٣ °م (نهار/ليل). وبينما لم تختلف نسبة عقد الثمار بين الحرارة العالية والمنخفضة فى الصنف Nyoho، فإن النسبة كانت أقل بكثير فى حرارة ٢٥/٣٠ °م عما فى حرارة ١٨/٢٣ °م فى الصنف Toyonoka. ويُستفاد مما تقدم بيانه أن

الحرارة العالية تضر بعملية الإزهار والإثمار فى الفراولة، ولكن استجابة النباتات للشدِّ الحرارى تتأثر بالصنف (Ledesma وآخرون ٢٠٠٨).

وعندما عُرِّضت نباتات فراولة لشدٍّ حرارى قدره ٤٢°م لمدة أربع ساعات قبل تفتح الزهرة الأولية بـ ١٢، و٩، و٦، و٣، وصفر يومًا.. وُجد ما يلى:

١- أحدث الشد لفترة واحدة خفضًا فى عقد الثمار.

٢- كانت مراحل تطور الإزهار المبكرة والمتأخرة أكثر حساسية للشدِّ الحرارى عن المراحل الوسطية التى كانت متحملة.

٣- تباين الانخفاض فى عقد الثمار حسب مرحلة تطور تكوين الزهرة، وموقع الزهرة، والصنف.

٤- لم يؤد الشدِّ الحرارى إلى خفض بالضرورة فى الوزن الطازج للثمرة أو حجمها، وقد تباينت التأثيرات حسب مرحلة تطور تكوين الزهرة، وموقعها، والصنف (Ledesma & Kawabata ٢٠١٦).

التأثير على صفات الجودة

الخرشوف

يؤدى الجو الحار الجاف إلى سرعة تفتح قنابات النورات الزهرية للخرشوف وإلى فقد الجزء المأكول لغضاضته. ويفيد الرى فى خفض الحرارة فى محيط النمو الخضرى بما يكفى لمنع تفتح القنابات.

وفى الجو البارد (حرارة التجمد أو القريبة منها) تتمزق طبقة الجلد فى الحراشيف الخارجية؛ مما يعطى النورات مظهرًا متقرحًا أبيض اللون. وفى خلال أيام قليلة يكتسب الجلد المتقرح لونًا داكنًا. وعلى الرغم من أن ذلك لا يؤثر على الجودة الأكلية للخرشوف، فإنه يسبب مشاكل فى تسويقه (Oregon State University ٢٠٠٢).

الفلفل

تحتوى ثمار الفلفل المنتجة فى ظروف الشدِّ الحرارى على قدر أكبر من مضادات الأكسدة عما تحتويه تلك المنتجة فى الظروف الأقل حرارة (Yasuor وآخرون ٢٠١٥).

الخس

فى دراسة أُجريت على صنف من الخس حساس للحرارة، وُجد أن الخس يستجيب لمعاملة شدِّ الحرارة (٣٥/٢٥ °م — نهار/ليل) بزيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة فى المراحل المبكرة من النمو، وأن الخس يستجيب للشدِّ الحرارى بتحسين صبغات البناء الضوئى، وبالتعديل الأسموزى، وبتغيير مورفولوجى النبات فى المراحل التالية من النمو؛ وبذا يوازن النبات بين الاستجابة للشدِّ الحرارى والنمو؛ ومن ثم يحدث تحفيز للزيادة فى الكتلة الحيوية وفى التفاصيل.. أظهرت النتائج، ما يلى:

١- بعد ١٣ يومًا من التعريض للشدِّ الحرارى ازداد تراكم الكتلة الحيوية، وأصبحت الأوراق الجديدة أضيق وأطول.

٢- بداية من اليوم الخامس للشدِّ الحرارى ازداد عدد الأوراق وطول الساق سريعًا.

٣- ومقارنة بمعاملة الكنترول (٢٥/١٥ °م — نهار/ليل) انخفض محتوى كلوروفيل أ + ب والكاروتينويدات والسكر الذائب فى مرحلة النمو المبكرة، ثم ازدادت فى المراحل التالية من الشدِّ الحرارى، ولكن حدث العكس تمامًا بالنسبة لمحتوى الـ malondialdehyde، ونشاط الكاتاليز والبيروكسيديز والسوبر أوكسيد ديسميوتيز.

٤- وُجد ارتباط جوهرى موجب بين كلٍّ من عدد الأوراق وطول الساق وبين كلوروفيل أ + ب والكاروتينويدات والسكر الذائب والبرولين وفوق أكسيد الأيدروجين، بينما كان الارتباط سالبًا مع كلٍّ من الـ malandialdehyde والبرولين (Zhao وآخرون ٢٠٢٢).

الأسبرجس

يرجع اللون القرمزى فى أصناف الأسبرجس القرمزية إلى تمثيلها لصبغات أنثوسيانينية، وأمكن التعرف على ١٧ مركبًا منها. ولقد وُجد أن الحرارة العالية

(٢٥/٣٨ °م نهار/ليل، مقارنة بنظام ١٥/٢٥ °م نهار/ليل) تثبط تراكم الأنثوسيانين فى تلك الأصناف. وتبين أن الصبغتين cyanidin3-O-arabinoside، و delphinidin 3-O-rutinoside يقل محتواهما جوهريًا فى القشرة الخارجية peel لهاميز الأسبرجس القرمزى فى ظروف الحرارة العالية. كذلك فإن تعبير الجينات ذات العلاقة بتمثيل الأنثوسيانين انخفض، وتعبير الجينات ذات العلاقة بتمثيل اللجنين ازداد فى ظروف الحرارة العالية (Liang وآخرون ٢٠٢٢).

وسائل التغلب على الشدِّ الحرارى

التطعيم على أصول مناسبة

أدى تطعيم صنف الفلفل الهجين Herminio (من طراز Lamuyo) على الأصول المناسبة، مثل A6، و A25، و A57 إلى التغلب على التأثيرات السلبية للحرارة العالية (٢٤/٣٨ °م — نهار/ليل — لمدة ٧ أيام)، بزيادة معدل النمو والمساحة الورقية والـ Fv/Fm ، مع خفض للتسرب الأيونى، وزيادة فى المحصول الصالح للتسويق (Gisbert-Mullor وآخرون ٢٠٢١).

عدم جدوى التظليل عند إنتاج الخس المتحمل للحرارة

يفيد التظليل فى إنتاج خس بجودة عالية فى المناطق والمواسم التى لا يسودها جو بارد معتدل. وبدراسة تأثير التظليل بنسبة ٥٠٪ باستعمال shadecloth أسود على عدد من أصناف خس الرومين المتحمل للحرارة، وجد أن التظليل — مقارنة بعدم التظليل — خفَّض حرارة الأوراق، والوزن الطازج للرؤوس، ومحتوى الجلوكوز والسكريات الكلية، والحلاوة، دون التأثير على المرارة، بينما أدى التظليل إلى زيادة محتوى كلوروفيل ب. وبذا.. فإنه لا يفضل التظليل عند إنتاج الأصناف المتحملة للحرارة فى ظروف الحرارة العالية، وذلك توفيرًا للنفقات مع إنتاج خس أكثر حلاوة عما لو تم تظليله (Alves وآخرون ٢٠٢٢).

الرش الورقى بالزنك

أدى تعريض نباتات الباك شوى (*Brassica chinensis*) لشدٍّ حرارة عالٍ (٤٠/٣٠ °م، نهار/ليل) إلى خفض معدل البناء الضوئى بنحو ٥٠٪، والمحتوى الكلوروفيلى، ونسبة فلورة الكلوروفيل (F_v/F_m) بالأوراق ولقد أدى الرش الورقى بكبريتات الزنك بتركيز ٠,٠٢٪ – ٠,٤٪ إلى التغلب على شد الحرارة العالية بكفاءة، وزيادة محتوى الزنك بالنمو الخضرى، ونشاط إنزيم السوبر أوكسيد ديسميوتيز، والمحتوى الكلوروفيلى ونسبة فلورة الكلوروفيل. هذا بينما لم يكن للتسميد الورقى بالزنك أى تأثير جوهرى على معظم الدلائل الحيوية فى ظروف الحرارة المعتدلة (٢٢/١٦ °م، نهار/ليل)، باستثناء زيادة تركيز الزنك ونشاط السوبر أوكسيدديسميوتيز (Han وآخرون ٢٠١٩).

التلقيح بالميكوريزا

دُرس تأثير معاملة تلقيح الأسبرجس بفطر الميكوريزا *Glomus intradices*، ووُجد أن المعاملة أحدثت ما يلى:

١– زيادة الكتلة البيولوجية وتحمل الحرارة العالية (٤٢/٣٧ °م ليل/نهار) بوضوح.

٢– انخفاض واضح فى سرعة التلون البنى للأوراق (ال cladophyll) فى الحرارة العالية.

٣– زيادة فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة السوبر أوكسيد ديسميوتيز والأسكوربيت بيروكسيديز.

٤– زيادة فى النشاط المضاد للأكسدة فى كل درجات الحرارة المختبرة (٢٥/٢٠ °م، و ٣٥/٣٠ °م، و٤٢/٣٧ °م ليل /نهار).

٥– زيادة النمو ومحتوى العناصر المعدنية (Yeasmin وآخرون ٢٠١٩).

وقد حدث تحسن كبير فى تحمل محاصيل الطماطم والفلفل والخيار للحرارة العالية — تحت ظروف الحقل — بالمعاملة بالميكوريزا. وتمثلت الاستجابة فى زيادة قوة النمو والإنتاجية وجودة الثمار (Reva وآخرون ٢٠٢١).

كما أدى تلقيح الخس بفطر الميكوريزا *Funneliformis mosseae* مع الزراعة فى حرارة ٣٥ °م إلى زيادة تحمل الخس للحرارة العالية؛ بزيادة القدرة على البناء الضوئى، وحماية الـ PSII system وزيادة معدل النتح (Yan وآخرون ٢٠٢١).

المعاملة بالبرولين

أدى رش نباتات الطماطم النامية فى ظروف حرارة عالية فى الصوبات بالبرولين — أيًّا كان تركيزه حتى ١٦٠٠ مجم/لتر — إلى خفض محتوى فوق أكسيد الأيدروجين، وحسَّن من الحموضة المعايرة.

وقد أدت المعاملة بالبرولين بتركيز ٥٠ أو ١٠٠ مجم/لتر إلى زيادة المحصول التجارى أو الكلى من الثمار. كذلك حسَّنت المعاملة بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون من كفاءة استخدام الماء، مع خفض محتوى الـ malonaldehyde. ويعنى ذلك أن المعاملة بالتركيز المناسب — وهو ١٠٠ مجم/لتر — يمكن أن تُساعد فى تجنب أضرار الحرارة المرتفعة فى الزراعات المحمية (Tonhati وآخرون ٢٠٢٠).

المعاملة بالاسبرميدين

أدى رش نباتات الخس بالاسبرميدين spermidine بتركيز ١ مللى مول إلى الحفاظ على بنية الكلوروبلاستيدات والميتوكوندريات فى بادرات الخس فى ظروف شدِّ الحرارة العالية. كذلك تغلبت معاملة الاسبرميدين على الضرر الذى أحدثته الحرارة العالية، وزادت من معدل البناء الضوئى بنسبة ٢٣٪. هذا.. وكان الشدِّ الحرارى قد أحدث خفضًا فى معدل البناء الضوئى بنسبة ٥٤,١٥٪، وأضرَّ بتركيب البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريات، بينما أدت معاملة الاسبرميدين إلى زيادة محتوى كلوروفيل أ وكلوروفيل ب (Yang وآخرون ٢٠٢٢).

المعاملة بمتعددات الأمين

من المعلوم أن المعاملة بالبوترسين putrescine تزيد من تحمل النباتات لحالات الشد البيئي. ولقد وُجد أن تعرض نباتات الكنتالوب لفترة محدودة من الشدِّ الحرارى كان له تأثير إيجابى على جودة الثمار؛ حيث أدى إلى زيادة محتوى الثمار من السكريات الكلية، ومتعددات الأمين، ومضادات الأكسدة، وقللت من تواجد المركبات غير المرغوب فيها مثل النترات. ولقد تحسنت جودة الثمار بقدر أكبر بالجمع بين الشدِّ الحرارى والرش الورقى بالبوترسين بتركيز ٥ مللى مول/لتر، حيث ازداد بالثمار قدرة تضادية الأكسدة ومحتواها من متعددات الأمين والأحماض الأمينية والعناصر المعدنية الهامة لصحة الإنسان، كما انخفض محتوى النترات بقدر أكبر (Piñero وآخرون ٢٠٢٠).

كما أدى الجمع بين الشدِّ الحرارى والرش الورقى بالاسبرميدين spermidine فى القنبيط إلى زيادة النشاط المضاد للأكسدة، والمحتوى الفينولى الكلى والأمينات المتعددة polyamines. ولقد تراكمت الكبريتات والفوسفات فى ظروف كل من الحرارة المعتدلة وظروف الشدِّ الحرارى، بينما تراكمت النترات عند المعاملة بالاسبرميدين بتركيز ٤ مللى مول (Collado-González وآخرون ٢٠٢١).

المعاملة بأكسيد النيتريك

دُرس تأثير تعريض نباتات الفراولة لشدِّ حرارى مقداره ٤٠ °م لمدة ٢٤ ساعة بعد معاملتها بالـ sodium nitroprusside (اختصارًا: SNP، وهو الذى يُطلق أكسيد النيتريك NO) بتركيز ١٠٠ ميكرومول. أدت معاملة الشدِّ الحرارى إلى زيادة محتوى الـ malondialdehyde، وفوق أكسيد الأيدروجين بالنباتات، وإلى زيادة تراكم البرولين فيها، بينما قللت المعاملة الحرارية من المحتوى المائى النسبى، وفلورة الكلوروفيل بالأوراق، ومحتوى الكاروتينويدات فيها. أما سبق المعاملة بالـ SNP قبل التعريض للشدِّ الحرارى فإنه تغلب على أضرار الحرارة العالية بالتحكم فى زيادة تراكم فوق أكسيد

الأيدروجين، وخفض أكسدة الدهون وتحسين المحتوى المائى النسبى وزيادة مضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية، وإلى زيادة تعبير الجينات ذات الصلة (Manafi وآخرون ٢٠٢١).

المعاملة بحامض السلسيلك

يؤثر شدُّ الحرارة سلبًا على النمو النباتى للطماطم بتثبيطه للنمو والتطور من خلال ضرره على مكونات البناء الضوئى ووظائف إنزيمات مضادات الأكسدة. ويُعد حامض السلسيلك أحد هرمونات النمو الهامة التى تحد من أضرار الشدِّ الحرارى. وفى ظروف شد حرارى قدره ٤٢ °م أدت إضافة حامض السلسيلك بمعدل ١ مللى مول إلى تحفيز دلائل تبادل الغازات، والبناء الضوئى، وكفاءة استخدام الماء، وإلى خفض التسرب الأيونى، وزيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (SOD، و POD، و CAT، و APX)، مما قلل من أضرار الأكسدة، ومن ثم حماية الأغشية الخلوية من الأضرار. كذلك أدت تلك المعاملة إلى زيادة المحتوى الكلوروفيللى، وخفض تراكم أكسدة الدهون وفوق أكسيد الأيدروجين. كما أدت المعاملة بحامض السلسيلك إلى زيادة محتوى البرولين؛ مما أضاف إلى القدرة الأسموزية؛ الأمر الذى أسهم فى زيادة امتصاص النباتات للماء، ومن ثم أفاد فى زيادة فتحة الثغور وفى جهاز البناء الضوئى فى ظل خفض الحرارة العالية للصبغات الكلوروفيللية والمحتوى الكاروتينويدى، والقدرة الأسموزية (Jahan وآخرون ٢٠١٩).

المعاملة بحامض الأبسيسك والكاولين

أدت معاملة نباتات الفراولة بغمس الجذور فى حامض الأبسيسك s-ABA بتركيز حوالى ١٠٠ ملليجرام/لتر قبل شتلها مباشرة إلى غلق عابر للثغور، وفَّر حماية لها من الشدِّ الحرارى، دون إحداثها لتأثيرات سلبية تذكر. كما أحدثت المعاملة زيادة فى كلٍّ من المحصول المبكر والكلى. كذلك وفرت معاملة الرش الورقى للشتلات بالكاولين بمعدل

٥٦ كجم/هكتار (٢٣,٥ كجم/فدان) إما مرة واحدة بعد الشتل مباشرة، أو مع رشة ثانية بعد أسبوع من الأولى.. وفرت لها حماية من الشدِّ الحرارى، وعملت على تحفيز البناء الضوئى، وزيادة المحصول المبكر والكلى الصالح للتسويق؛ هذا.. إلاّ إن المعاملة المزدوجة بالكاولين أحدثت زيادة أكبر فى المحصول المبكر؛ مما يجعلها أفضل من المعاملة المفردة (Dash وآخرون ٢٠٢٠).

الفصل الثالث

شـدّ ملوثات الهواء

يُعد الأوزون أحد أهم ملوثات الهواء التى دُرس تأثيرها على محاصيل الخضر.

ولقد دُرس تأثير شدّ الأوزون الليلى (من ٨ مساءً إلى ٧ صباحًا) بتركيز ١٠–٢٦٥ جزءًا فى البليون، مع شدٍ نهارى بتركيز ٤٤، و٦٢ جزءًا فى البليون على نباتات الفاصوليا من الصنف الحساس S 156 والصنف المتحمل R 123، وتبين وجود علاقة خطية جوهرية سالبة بين كتلة القرون والتركيز الليلى للأوزون فى كلا الصنفين، وبلغ النقص فى المحصول ١٥٪، و٥٠٪ عندما كان تركيز الأوزون ليلاً حوالى ٤٥، و١٤٥ جزءًا فى البليون، على التوالى، وذلك فى الصنف الحساس، أما فى الصنف المتحمل، فإن النقص فى المحصول بلغ ١٥٪ عندما كان تركيز الأوزون حوالى ١٥٠ جزءًا فى البليون. ولقد أحدث التركيز المنخفض للأوزون ليلاً (حوالى ١٠٠ جزء فى البليون) زيادة محدودة (١١٦٪) فى محصول القرون فى الصنف المتحمل R 123، وليس فى الصنف الحساس S 156. ولقد وُجد أن النقص فى المحصول حدث فى كلا الصنفين عندما كانت المعاملة بالأوزون ليلاً ونهارًا، أما المعاملة الليلية فقط فلم تحدث نقصًا فى المحصول إلاّ فى الصنف الحساس فقط. كذلك أظهر الصنف الحساس معدلاً أعلى جوهريًّا لتوصيل الثغور عن الصنف المتحمل (Lloyd وآخرون ٢٠٢٠).

هذا.. ولم تؤثر زيادة تركيز الأوزون على مساحة الورقة فى الكرنب الصينى، لكن المادة الجافة ارتبطت سلبيًّا مع الزيادة فى فترة التعرض للتركيز العالى من الغاز (١٥٠ جزء فى البليون) من ساعة واحدة إلى ٤ ساعات يوميًّا. وبينما ازدادت صبغات الليوتين lutein والليكوبين والكلوروفيل بالتعرض للغاز لمدة ساعة واحدة يوميًّا، فإن الكاروتينويدات الكلية والبيتاكاروتين لم يتأثرا. أما عندما كان التعرض لشدّ زيادة تركيز الغاز لمدة ٤ ساعات يوميًّا فإن جميع الصبغات انخفض تركيزها جوهريًّا. كذلك ازداد

جوهريًّا تركيز الأليفات الكلية والجلوكوسينولات الكلية عندما كان التعرض للغاز لمدة ساعة واحدة يوميًّا، لكنها انخفضت جوهريًّا بزيادة فترة التعرض لأربع ساعات يوميًّا. هذا إلاّ إن الإندولات الكلية والأرومات الكلية ازدادت جوهريًّا عندما كان التعرض لأربع ساعات يوميًّا (Han وآخرون ٢٠٢٠).

ولقد أُجريت دراسة عُرِّضت فيها نباتات الباك شوى *Brassica campestris* spp. *chinensis* — في مرحلة نموها المبكرة — للأوزون بتركيز ٦٠ جزء في البليون لمدة ساعة أو أربع ساعات يوميًّا لستة أيام متتالية. ولقد أدى التعريض للأوزون إلى إحداث تأثيرات جوهرية على صفات الجودة الكيميائية؛ حيث ازدادت الصبغات بالتعريض للأوزون لأربع ساعات يوميًّا، وأحدثت هذه المعاملة انخفاضًا جوهريًّا في الجلوكوسينولات (GLS) الكلية والجلوكوسينولات الأليفاتية الكلية، مع إحداث زيادة جوهرية في كلٍّ من الـ 4-methylthiobutyl-GLS، والإندول الكلي والجلوكوسينولات الأروماتية (Han وآخرون ٢٠٢١).

الفصل الرابع

التأثيرات الفسيولوجية لشدِّ الملوحة

لشدِّ الملوحة تأثيرات فسيولوجية كثيرة على نمو وتطور نباتات الخضر، وعلى محتواها من مختلف المركبات الحيوية. فضلاً عن تأثيرها على المحصول وصفات الجودة؛ الأمر الذى نلقى عليه الضوء فى هذا الفصل.

الطماطم

وُجد أن الملوحة العالية (حتى ١٢,٦١ ديسى سيمنز/م) تؤدى إلى صلابة جلد ثمرة الطماطم، وارتبطت القوة التى لزمت لاختراق الجلد خطيًّا بكلٍّ من وزن الثمرة النوعى وبمدى إحساس المستهلك بسماكة طبقة الجلد. كما وُجد بالفحص الهستولوجى ارتباطاً خطيًّا بين سمك طبقة تحت البشرة وملوحة ماء الرى. وكان مرد الجلد الصلب فى ظروف الملوحة العالية إلى حدوث زيادة فى عدد طبقات خلايا نسيج تحت البشرة، وليس إلى حدوث تغير فى تركيب الجدر الخلوية (Ruiz ٢٠١٥).

وقد دُرس التأثير الفسيولوجى لشدِّ الملوحة على صنفين من الطماطم، هما: Grand Brix، و Marmande RAF، ووُجد أن شد الملوحة قلل من الكتلة البيولوجية ومعدل النمو النسبى فى كلا الصنفين، وكان التأثير أشد وضوحًا فى الصنف Marmande RAF. وتشير تلك النتائج — إضافة إلى تراكم البرولين — إلى أن الصنف Grand Prix أكثر تحملاً لشدِّ الملوحة، علمًا بأن تراكم البرولين فى هذا الصنف حدث من خلال الـ ornithine pathway حيث بقى الـ glutamate pathway مقيدًا. وفى المقابل.. فقد وُجد فى كلا الصنفين انخفاضًا فى كلٍّ من الـ BADH والجليسين اللذان يفترض أنهما آليتان لتحمل الملوحة (de la Torre-González وآخرون ٢٠١٨).

الفلفل

يبدأ محصول الفلفل فى الانخفاض عندما تزيد درجة التوصيل الكهربائى EC عن ١,٥ ديسى سيمنز/م، ويصل الانخفاض فى المحصول إلى ٥٠٪ عند EC مقدارها ٥,٨

ديسى سيمنز/م، مع انخفاض إضافى فى المحصول قدره ١٢,٦٪ مع كل زيادة إضافية فى الـ EC قدرها وحدة واحدة. هذا.. وتكون نباتات الفلفل حساسة لشدِّ الملوحة فى كل مراحل نموها، إلاّ إن الضرر على البادرات يكون أكثر شدة ويمكن ان يُحدِث تقزمًا شديدًا وموتًا لها. أما النباتات الكبيرة فتظهر عليها أعراض احتراق بقمم الجذور، مع احتراق بحواف الأوراق وذبول للنباتات وسقوط للأوراق. وكثيرًا ما تظهر أعراض شدِّ الملوحة بعد المطر الخفيف أو الرى الخفيف الذى يغسل الأملاح إلى منطقة نمو الجذور (Goldberg ٢٠٠٤).

وقد وُجد فى دراسة على صنفى الفلفل الحلو Onur F1، و Ada F1 أن مستوى الملوحة الحرج لهما هو ١,٤٣ ديسى سيمنز/م مع انحدار قدره ١١,١٪ (Rameshwaran وآخرون ٢٠١٦).

وأدى تعريض نباتات الفلفل لشدِّ ملحى بلغ ٥٠، و١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم لمدة ٢١ يومًا إلى الحد كثيرًا من النمو النباتى بسبب الانخفاض الذى أحدثه الشدِّ الملحى فى معدل البناء الضوئى، وتراكم للصوديوم فى الأوراق. وكان للملوحة العالية تأثيرًا أكبر على الثمار منه على الأوراق. ولقد أحدث الشدِّ الملحى زيادة جوهرية فى أكسدة الدهون (كما ظهرت من قياس محتوى الـ malondialdehyde)، ولكنها قللت من نشاط السوبر أوكسيد ديسميوتيز فى كل من الثمار والأوراق، على الرغم من أن التأثير كان أقوى فى الثمار. وأدى مستوى الشدِّ الملحى العالى (١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم) إلى خفض مستوى حامض الأسكوربيك، وكان هذا التأثير أقوى فى الثمار عما فى الأوراق، كما أظهر مستوى حامض الأسكوربيك علاقة عكسية مع تركيز الصوديوم فى كلٍّ من الأوراق والثمار (Azuma وآخرون ٢٠١٠).

وعندما رُويت نباتات الفلفل الحار بماء بلغت درجة توصيله الكهربائى ٠,٩، و١,٦، و٢,٧، و٤,٧، و٧,٠ ديسى سيمنز/م حدثت التأثيرات التالية:

١- انخفض محصول الثمار الكلى جوهريًّا بزيادة درجة التوصيل الكهربائى.

٢- انخفض الوزن الطازج للثمرة.

٣- حدث انخفاض فى عدد الثمار /نبات.

٤- حدث انخفاض فى الكتلة البيولوجية الكلية للثمار والنبات.

٥- حدث نقص فى كفاءة امتصاص الماء واستخدامه.

٦- حدث نقص فى مظهر الثمار بانخفاض طولها وأقصى عرض لها.

٧- حدث تحسُّن فى الطعم وزيادة فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية، وفيتامين ج.

٨- حدث تحسُّن فى القدرة التخزينية للثمار مع تحسُّن فى صلابتها ونقص فى محتواها الرطوبى.

وبالمقارنة.. فإن زيادة مياه الرى إلى ١٢٠٪، و١٤٠٪ من احتياجات التبخر والنتح، وما أدت إليه من فقد لماء الرى بالرشح (leaching fraction) بمقدار ٠,١٧، و٠,٢٩، على التوالى.. أحدثت التأثيرات التالية:

١- زيادة فى محصول الثمار الكلى.

٢- زيادة فى الكتلة البيولوجية الكلية للثمار والنبات.

٣- زيادة فى كفاءة استخدام المياه.

٤- زيادة فى محتوى الرطوبة بالثمار وزيادة فى محتواها من فيتامين ج (Qiu وآخرون ٢٠١٧).

كما أحدثت زيادة شدِّ الملوحة (تدريجيًّا من ٠,٩ إلى ٧,٠ ديسى سيمنز/م) فى الفلفل تأثيرات سلبية على النمو النباتى، وتبادل الغازات، وإلى تراكم الصوديوم، مع زيادة تركيزه فى الجذور والسيقان، بينما أدت زيادة الغسيل (من ٠,١٧ إلى ٠,٢٩ نسبة راشح leaching fraction) إلى تحفيز النمو النباتى، والنتح الورقى، وتركيز البوتاسيوم، وخفضت من تراكم الصوديوم فى الجذور والسيقان (Qiu وآخرون ٢٠١٨).

الفراولة

وُجد فى مزرعة لا أرضية للفراولة أن إضافة كلوريد الكالسيوم إلى المحلول المغذى الكامل بتركيزات متزايدة من صفر حتى ٢٠ مللى مول كلوريد كالسيوم، أحدثت التأثيرات التالية:

١- لم تؤثر الملوحة على الأوزان الجافة للأوراق والتيجان والجذور الأولية المكتملة النمو، إلاّ إن الملوحة الأعلى عن ١٠ مللى مول خَفّضت الوزن الجاف لكلٍ من المدادات والنباتات النامية من الأمهات daughter plants.

٢- خَفّضت الملوحة — كذلك — من الأوزان الجافة للجذور الأولية الجديدة والجذور الماصة.

٣- حدث احتراق بحواف الأوراق فى كل المعاملات بما فى ذلك معاملة الكنترول التى حدث فيها احتراق فى ١٤٪ من الأوراق، لكن الاحتراق ازداد بزيادة الملوحة حتى وصل إلى ٩٣٪–٩٨٪ من الأوراق فى أعلى تركيز للملوحة.

٤- أدت معاملات كلوريد الكالسيوم إلى زيادة تركيز الكالسيوم فى جميع الأعضاء النباتية، كما زادت كذلك من تركيز عناصر مغذية أخرى، شملت الحديد فى الأوراق والمدادات والنباتات النامية من الأمهات، والبورون فى النباتات النامية من الأمهات؛ والزنك فى التيجان والنباتات النامية من الأمهات والجذور المغذية، لكن معظم العناصر الأخرى المقيسة انخفض تركيزها بمعاملة كلوريد الكالسيوم، وشملت النيتروجين فى المدادات والنباتات النامية من الأمهات والجذور الأولية الجديدة والجذور المغذية؛ والفوسفور والمنجنيز فى كل الأنسجة والأعضاء عدا التيجان؛ والكبريت فى النباتات النامية من الأمهات؛ والبورون والزنك فى الجذور الأولية الجديدة (Bryla & Scagel ٢٠١٤).

ولقد كانت الثمار المنتجة فى ظروف الشدّ الملحى الأعلى فى محتوى المواد الصلبة الذائبة، ومن ثم كانت الأحسن طعمًا. كذلك حسَّنت الملوحة من القيمة الغذائية والطبية

بزيادتها لمحتوى الثمار من المركبات المضادة للأكسدة. وفى شد نقص النيتروجين فى ظروف غير ملحية كانت الثمار المنتجة أكثر صلابة. وبالنسبة للاختلافات فى المركبات ذات الأهمية للصحة، لم تظهر أى اختلافات جراء تأثير الملوحة باستثناء تركيز البولى فينولات الكلية والنشاط المضاد للأكسدة اللذان ازدادا فى القطفة الأولى فقط فى ظروف شد الملوحة (Cardenosa وآخرون ٢٠١٥).

وعندما عُرِّضت نباتات فراولة لشدٍّ حرارى قدره ٤٢ °م لمدة أربع ساعات قبل تفتح الزهرة الأولية بـ ١٢، و٩، و٦، و٣، وصفر يومًا.. وُجد ما يلى:

١- أحدث الشد لفترة واحدة خفضًا فى عقد الثمار.

٢- كانت مراحل تطور الإزهار المبكرة والمتأخرة أكثر حساسية للشدِّ الحرارى عن المراحل الوسطية التى كانت متحملة.

٣- تباين الانخفاض فى عقد الثمار حسب مرحلة تطور تكوين الزهرة، وموقع الزهرة، والصنف.

٤- لم يؤد الشدِّ الحرارى إلى خفض بالضرورة فى الوزن الطازج للثمرة أو حجمها، وقد تباينت التأثيرات حسب مرحلة تطور تكوين الزهرة، وموقعها، والصنف (Ledesma & Kawabata ٢٠١٦).

الخضر البقولية

دُرس تأثير شد الملوحة — وكذلك شد الجفاف — على ثلاثة أصناف من البسلة، هى: Climax، و Green Grass، و Meteor. كانت مستويات شدِّ الملوحة: ٥,٤ مللى مول (الكنترول)، و٥٠ مللى مول، و٧٥ مللى مول، و١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم، وكانت مستويات شدِّ الجفاف: الرى بـ ١٠٠٪، و٧٥٪ من السعة الحقلية. أحدثت مستويات الشدِّ العالية من كلٍّ من الملوحة والجفاف زيادة جوهرية فى محتوى الفلافونويدات الكلية، كما أحدثت تحفيزًا جوهريًا فى مستوى نشاط الـ guaiacol

peroxidase. وفى المستويات العالية من أى من حالتى الشد حدث انخفاض فى مستوى نشاط الكاتاليز، والسوبر أوكسيد ديسميوتيز. وقد وُجد ارتباط موجب بين محتوى الفلافونويدات الكلى ومستوى نشاط الـ guaicol peroxidase؛ حيث ازداد تركيزهما فى ظروف كلٍّ من شد الملوحة وشد الجفاف، بما يعنى أنهما يلعبان دورًا رئيسيًّا فى النشاط المضاد للأكسدة. وجدير بالذكر أن استجابة الأصناف الثلاثة كانت متماثلة، وأن التأثيرات الفسيولوجية كانت متماثلة فى كلٍّ من شدِّ الملوحة وشدِّ الجفاف؛ بما يعنى وجود آلية واحدة للاستجابة لحالتى الشد (Farooq وآخرون ٢٠٢١).

وقد أدى تعريض اللوبيا لشدٍّ ملحى ما بين ٢,٦، و٢٠,١ ديسى سيمنز/م إلى إحداث خفض جوهرى فى المساحة الورقية، والوزن الجاف لكلٍّ من الأوراق والسيقان والجذور، مع تباين فى استجابة ١٢ صنفًا تم اختبارهما لتحمل شد الملوحة (Wilson وآخرون ٢٠٠٦).

وفى فاصوليا الليما (*Phaseolus lunatus*) دُرس تأثير ستة مستويات من الملوحة تراوحت بين توصيل كهربائى EC ٢,٩ (كنترول)، و١٥,٥ ديسى سيمنز/م فى ماء الرى على الصنف Fordhook 242. وقد وُجد إنه بزيادة شد الملوحة حدث انخفاض جوهرى خطى فى كلٍّ من الكتلة البيولوجية للنبات، ومحصول القرون، وصافى معدل تمثيل الكربون net carbon assimilation rate (اختصارًا: A). ومع زيادة شدِّ الملوحة من الكنترول إلى ١٥,٥ ديسى سيمنز/م كان الانخفاض ٨٧٪، و٦٩٪ فى كلٍّ من الكتلة البيولوجية للنبات ، و A – على التوالى – فى مرحلة النمو الخضرى، وبنسبة ٩٦٪، و٨٣٪ – على التوالى – فى مرحلة نمو القرون، مع انخفاض محصول القرون بنسبة ٩٨٪. ويُستدل من العلاقات الخطية أن الانخفاض فى A كان هو المسئول عن جزء كبير من الانخفاض فى كلٍّ من النمو ومحصول القرون. كذلك كان للشد الملحى تأثيرًا سلبيًّا جوهريًّا على توصيل الثغور بالأوراق. كذلك انخفض تركيز ثانى أكسيد الكربون بين خلايا الورقة

بشكل موازٍ وجوهرى مع زيادة الشدِّ الملحى. ومن واقع تلك النتائج يمكن الاستنتاج بأن الانخفاض فى A مع زيادة الملوحة ربما كان مرده إلى الانخفاض فى توصيل الثغور الذى حدَّ من توفر ثانى أكسيد الكربون للبناء الضوئى (Liu & Suarez ٢٠٢١).

البطاطا

دُرِس مدى تأثر نمو البطاطا فى ٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم لمدة ٢١ يومًا فى صنفين، هما: Japanese Yellow (اختصارًا: JPY)، و Blackie (اختصارًا: BLK)، ووُجد ما يلى:

١- تساقطت أوراق الصنف JPY بوضوح؛ مما أدى إلى نقص المساحة الورقية؛ حيث وصلت إلى ٦٠٪ من المساحة الورقية فى الكنترول.

٢- ازداد محتوى الصوديوم فى جذور الصنف BLK إلى ٥٤,١٨ مجم/جم مادة جافة، مقارنة بمحتوى الصوديوم فى السيقان والأوراق.

٣- ازداد محتوى الصوديوم فى جميع الأعضاء النباتية فى الصنف JPY؛ مما أدى إلى انخفاض معدل البناء الضوئى لتصبح ٧١٪ مما فى الكنترول.

٤- أدت التغذية بالكالسيوم والسكر الذائب إلى التغلب على سمية الصوديوم، وخاصة فى الصنف BLK.

٥- وُجدت علاقة عكسية بين تراكم الصوديوم ومحتوى كلوروفيل ب، وعلاقة موجبة بين كلوروفيل ب ومعدل البناء الضوئى (Kitayama وآخرون ٢٠٢٠).

الكرنب

أحدثت الملوحة العالية (١٠٠ مللى مولى كلوريد الصوديوم) تأثيرات سلبية على الكرنب تمثلت فى انخفاض المحصول وحدوث زيادة جوهرية فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، إلاّ إن تلك التأثيرات كانت أشد وضوحًا فى الأصناف ذات الأوراق المجعدة savoy عما فى الأصناف البيضاء الملساء الأوراق. وكان تراكم الأيونات العامل

المحدد المفتاحى فى التعديل الأسموزى للأنسجة — خاصة فى الأصناف ذات الأوراق المجعدة — بينما كان اسهام المركبات العضوية الأسمولية organic osmolytes ضئيلاً (Sanoubar وآخرون ٢٠١٦).

وقد ازداد فى نباتات الكرنب النشاط المضاد للأكسدة، ومحتوى البرولين والسكروز تحت ظروف أى من شدِّ الملوحة (٧٥، و١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم فى ماء الصنبور)، وشد الجفاف (الرى بنحو ٦٠٪ من الرى الكامل)، أو كلاهما مجتمعين، كذلك ازدادت بتأثير حالتى الشد أضرار الأكسدة التى تمثلت فى التسرب الأيونى، والـ MDA، وفوق أكسيد الأيدروجين، مع انخفاض فى محتوى الكلوروفيل، والمحتوى المائى النسبى بالأوراق، ومحتوى ثانى أكسيد الكربون فيما بين الخلايا، ومعدل النتح. هذا.. ولم تؤدِ المعاملة بالبرولين أو السكروز إلى تحسين الوضع تحت ظروف أى من حالتى الشدِّ. وقد كان لأى من معاملتى الشد تأثيرات سلبية على النمو النباتى والوزن الجاف للنمو الخضرى والجذور، وازدادت تلك التأثيرات عندما أُجرى الجمع بين حالتى الشد (Sahin وآخرون ٢٠١٨)

اللفت

أدى تعريض بذور وبادرات اللفت لشدٍّ ملحىٍّ من كلوريد الصوديوم لمدة سبعة أيام إلى خفض سرعة إنبات البذور، وإلى تثبيط نمو البادرات وطولها. ومع زيادة تركيز ملح كلوريد الصوديوم انخفض تدريجيًّا الوزنين الجاف والطازج للبادرات وطولها. وتحت تأثير شدِّ الملوحة ازدادت جوهريًّا المركبات المنظمة للأسموزية ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة. وعلى خلاف زيادة المحتوى الكلوروفيللى فى المستوى المنخفض من الملح، فإنه انخفض فى المستويات العالية. ولقد وُجدت ارتباطات جوهرية سالبة بين دلائل نمو البادرات ومحتوى الأكسجين التفاعلى، والمركبات المنظمة للأسموزية ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة لكن تلك الدلائل ارتبطت جوهريًّا وإيجابيًّا مع كل من كلوروفيل b والمحتوى الكلوروفيللى الكلى (Jia وآخرون ٢٠٢٠).

الخـــس

أدى شد الملوحة إلى خفض محصول الخس الصالح للتسويق بنسبة ٢٢,٧٪، و٣٦,٤٪ و٤٥,٤٪، و٦٣,٦٪ فى مستويات ملوحة EC (بالمحلول المغذى) بلغت ٠,٩، و١,٨، و٣,٦، و٧,٢ ديسى سيمنز/م، على التوالى. وفى مقابل الانخفاض فى المحصول فإن شدّ الملوحة أحدث خفضًا فى محتوى النترات بالنباتات. وقد لُوحظت أقل قيم للنشاط المضاد للأكسدة الـ lipohylic، ولحامض الأسكوربيك فى ظروف شد الملوحة الشديد (٧,٢ ديسى سيمنز/م). هذا وقد انخفض صافى معدل تمثيل ثانى أكسيد الكربون، وتوصيل الثغور، والمحتوى المائى الكامن بالأوراق leaf water potential بزيادة شدّ الملوحة (di Mola وآخرون ٢٠١٧).

وأظهرت دراسة على الخس الأيس برج أن مستوى الملوحة المثالى فى مياه الرى لأعلى محصول هو EC = ١,٨٤ ديسى سيمنز/م، مع توقع انخفاض فى المحصول قدره ٨,٢٦٪، و٢٢,٧٪ لكل ارتفاع أو انخفاض قدره وحدة EC — على التوالى — عن المستوى المثالى؛ بما يعنى أن انخفاض الملوحة عن المستوى الأمثل يتسبب فى خفض أكبر فى المحصول عن ارتفاعها عن ذلك المستوى. ويعنى ذلك تفضيل رى الخس بماء قليل الملوحة (Kurunc ٢٠٢١).

هذا.. بينما أدى تعريض نباتات الخس الرومين لشدّ ملحىّ عالٍ إلى تحفيز الـ PSII والمحتوى الكلوروفيللى، ولكن مع إحداث خفض قدره ٣٢,١٪ فى المحصول، ومع زيادة فى تركيز البرولين وخفض فى تركيز حامض الأبسيسك فى النبات. هذا .. ولم يكن لمعاملة الرش بحامض الجلوتامك قبل التعرض للشدّ الملحى مرة، وأثناء التعريض للشد الملحى ثلاث مرات.. لم يكن لها تأثير على أضرار شد الملوحة (Franzoni وآخرون ٢٠٢٢).

السبانخ

وُجد أن لزيادة شدّ الملوحة تأثيرات سلبية على القيمة الغذائية للسبانخ؛ فقد أدت زيادة تركيز كلوريد الصوديوم إلى إحداث عدم توازن فى العناصر المعدنية؛ حيث

انخفض تركيز البوتاسيوم والكالسيوم والحديد؛ مما أحدث تغيرًا فى نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم ونسبة الصوديوم إلى الكالسيوم. وأدى ذلك إلى انخفاض فى ارتفاع النبات ووزنه. وحدث كذلك تغيرًا فى مستوى ٣٢ مركبًا أيضيًّا، متضمنة الفلافونويدات، والأحماض الأمينية، والمركبات الحمضية، والسكريات، والمركبات ذات الصلة بالدهون، وكان ذلك غالبًا فى صورة انخفاض فى تركيزاتها، وعلى وجه الخصوص انخفض جوهريًّا مستوى السكروز وحامض الجلوتامك والسكريات السداسية والمركبات الحمضية بزيادة تركيز كلوريد الصوديوم إلى ٢٠٠ مللى مول/لتر (Kim وآخرون ٢٠٢١).

الكرفس

تأثر محصول الكرفس الصالح للتسويق بدرجة متوسطة (بنسبة ٢٥٪) بزيادة ملوحة مياه الرى إلى ٨,٥ ديسى سيمنز/م. هذا بينما أحدث الشدّ المائى الشديد خفضًا كثيرًا فى المحصول الصالح للتسويق من ٢٣ طن/هكتار إلى أقل من ٧ طن/هكتار. وأحدثت الملوحة العالية فى ماء الرى زيادة فى تركيز كل من أيونى الكور والصوديوم، بينما أحدثت نقصًا فى محتوى النيتروجين، وفى تركيز أيونات البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم (de Pascale وآخرون ٢٠٠٣).

الجرجير

يُعد الجرجير من الخضر التى يمكن أن تتراكم فيها النترات بتركيز عالٍ. ومع تغيير مستوى النيتروجين وكلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى كان أعلى محصول عندما كان تركيز النيتروجين ١٤ مللى مول N، بينما انخفض المحصول عند تركيز ٢٠ مللى مول N ، و٤٠ مللى مول كلوريد صوديوم. وأدت إضافة كلوريد الصوديوم إلى المحلول المغذى إلى زيادة محتوى الكلوروفيل النسبى، كما ازداد تركيز أيونا الصوديوم والكلورين بزيادة الملوحة، كذلك ازداد مستوى النترات فى الكتلة البيولوجية بزيادة كمية النترات فى المحلول المغذى (Urlić وآخرون ٢٠١٧).

البقدونس

أظهر البقدونس — من الطرازين الأملس والمجعد الأوراق — وكذلك البقدونس ذات الجذور الشبيهة بجذور اللفت turnip-rooted parsley — حساسية متوسطة للملوحة، ولكن مع إمكان إنتاج تلك الطرز فى مستوى ملوحة يقل عن ٤,٥ ديسى سيمنز/م؛ علمًا بأن الملوحة المتوسطة تلك تفيد فى زيادة إنتاج الزيوت، كما تؤثر إيجابيًّا فى بعض مكونات النكهة (Petropoulos وآخرون ٢٠٠٩).

الرجلة

تُعد الرجلة من الخضر المتحملة للملوحة، ويؤثر شدٌ الملوحة على محتواها من مختلف الأحماض الدهنية. ولقد وُجد أن شدٌ ملوحة قدره ٢٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم أثر على نمو أجزاء النبات الهوائية والأرضية، وعلى كفاءة البناء الضوئى، والقدرة الأسموزية، وخاصة فى الصنف البرى Liaoning China local؛ حيث أمكن تمييز ١٢ حمضًا دهنيًّا، كان أهمها: alpha-linolenic acid، و linoleic acid. وأحدث شد الملوحة زيادة جوهرية فى محتوى الأوراق والسيقان من أوميجا-٣، وكانت نسبة أوميجا-٦ إلى أوميجا-٣ شديدة الانخفاض (Zaman وآخرون ٢٠١٩).

الفصل الخامس

وسائل التغلب على شدِّ الملوحة

أقلمة النباتات على الملوحة

أدت أقلمة البسلة بشدٍّ ملوحة قدره ١٥ مللى مول كلوريد صوديوم إلى أقلمة النباتات على الملوحة بتحفيز عزل (خلب) البوتاسيوم فى كل من الأوراق والجذور، وزيادة معدل البناء الضوئى، وتوصيل الثغور، والمحتوى الكلوروفيللى، والمحتوى المائى النسبى، وزيادة تراكم الكتلة الجافة البيولوجية (Shaukat وآخرون ٢٠١٩)

كما أدت أقلمة شتلات الطماطم فى مزرعة مائية على شد ملحى معتدل قدره ١٠ مللى مول كلوريد صوديوم لمدة ٧ أيام إلى جعلها تتحمل شدًّا قدره ١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم لمدة ١٤ يومًا. وكان ذلك راجعًا إلى زيادة قدرة الشتلات المؤقلمة على خلب الصوديوم فى الفجوات العصارية، ومن ثم منع سُمية الصوديوم على السيتوبلازم. كما ترافق ذلك مع تراكم كبير للبرولين، وتنشيط للإنزيمات المضادة للأكسدة، وكان من توابع ذلك أن تراكم فوق أكسيد الأيدروجين كان بدرجة أقل وتعرضت الأغشية الخلوية لضرر أقل فى النباتات المؤقلمة، لكن ذلك كله لم يكن مترافقًا بتحسن فى النمو النباتى (Kamanga وآخرون ٢٠٢٠).

الاستفادة من عدم التجانس الرأسى للملوحة فى التربة

يمكن أن تستفيد النباتات من حالة عدم التجانس الرأسى للملوحة فى التربة. ولقد وُجد عند تساوى متوسط الملوحة فى التربة أن عدم التجانس الرأسى للملوحة فيها منع تراكم الصوديوم فى نباتات الطماطم وحفَّز امتصاص البوتاسيوم؛ مما أدى إلى زيادة نسبة البوتاسيوم K^+ إلى الصوديوم Na^+. وقد أفاد عدم التجانس الرأسى للملوحة فى التربة كلاًّ من البناء الضوئى والدلائل الفسيولوجية ذات العلاقة فى الطماطم، مثل توصيل الثغور، وأقصى معدل انتقال للإليكترونات، والمحتوى الكلوروفيللى. ويُستفاد مما تقدم

أن التباين الرأسى للملوحة فى التربة يخفف من الآثار السلبية لشدِّ الملوحة (Chen وآخرون ٢٠١٩).

التطعيم على أصول متحملة

قُورن تأثير تطعيم صنف الفلفل Adige على كلٍّ من الأصول المتحملة لظروف شدِّ الملوحة والجفاف: A25، وB14، وC12، والأصل التجارى Antinema – مقارنة بالفلفل غير المطعوم – قورن تأثير ذلك على تحمل الملوحة والجفاف تحت ظروف الحقل. ولقد أعطى الفلفل المطعوم على الأصول المتحملة – تحت ظروف الشدِّ الملحى وشدِّ الجفاف – كمية أكبر من المحصول الصالح للتسويق، وخاصة عندما كان التطعيم على الأصل A25، مقارنة بما كان الوضع عليه عندما أُجرى التطعيم على الأصل Antinema، أو عندما لم يُجر أى تطعيم. ولقد حافظ الأصل A25 على مستوى عالٍ من البناء الضوئى فى الطعم تحت ظروف الشدِّ من خلال عدد من وسائل التأقلم الفسيولوجية، مثل تراكم البرولين. وكان المحصول عند التطعيم على Antinona مماثلاً للمحصول عندما كان التطعيم على A25 فى ظروف عدم الشد. ويبدو من نتائج هذه الدراسة أن التغلب على التأثير السلبى لشدِّ الملوحة والجفاف عندما كان التطعيم على A25 حدث – أساسًا – من خلال تجنب حدوث تأثير سلبى لحالة الشد على عملية البناء الضوئى (Penella وآخرون ٢٠١٧).

وأدى تطعيم صنفا الطماطم الهجين Buran، و Berberana على الأصل Maxifort فى ملوحة عالية (٣,٨، و٦,٩٥، و٩,١٢ ديسى سيمنز/م) إلى تقليل النقص فى وزن الثمار – جراء تأثير الملوحة – بنسبة ٢٠٪ إلى ٣٠٪ (Koleska وآخرون ٢٠١٨).

وأوضحت دراسة طُعِّمت فيها الطماطم على نبات الـ wolfberry (وهو *Lycium chinense*) فى أرض ملحية ساحلية أن هذا التطعيم يُعد وسيلة مجدية لإنتاج الطماطم فى هذه النوعية من الأراضى على الرغم من التأثير السلبى لهذا الأصل على نمو ومحصول الطماطم (Feng وآخرون ٢٠١٩).

كما أدى تطعيم سلالة طماطم حساسة للملوحة (Tom 121) على سلالة متحملة للملوحة (Tom 174) إلى خفض النقص فى محصول السلالة الحساسة — جراء شدِّ الملوحة (٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم) — من ٤٤٪ إلى ٣٪. كذلك ازداد حجم الثمرة، ومحتوى المادة الجافة الكلى، وفيتامين C، بينما انخفض الـ pH فى ظروف الملوحة مع التطعيم على السلالة المتحملة. وبدا أن سلالة الطماطم المتحملة للملوحة Tom 174 تتحكم فى بعض الخصائص ذات العلاقة بالتحمل فى السلالة الحساسة، مثل فتح وغلق الثغور للنتح ودخول ثانى أكسيد الكربون؛ ذلك لأن محتوى المادة الجافة ازداد. وقد لعبت السلالة المتحملة دورًا فى التعديل الأسموزى بالأوراق عندما استُخدِمت كأصل فى ظروف شدِّ الملوحة. أدى التطعيم كذلك إلى خفض تراكم الصوديوم فى الأوراق الحديثة (Coban وآخرون ٢٠٢٠).

وأدى تطعيم الطماطم على البطاطس إلى تحسين قدرة الطماطم على تحمل شدِّ الملوحة (EC قدره ٥,٠ ديسى سيمنز/م) من خلال إحداث تغييرات مميزة فى توزيع الكتلة الجافة، وحدث توازن فى تقسيم وتوزيع compartmentalization العناصر. وأمكن بهذه الطريقة — ليس فقط زيادة تحمل الطماطم للملوحة — وإنما كذلك إنتاج ثمار طماطم ودرنات بطاطس (Parthasarathi وآخرون ٢٠٢١).

استنبات البذور فى ظروف ومعاملات خاصة

تحضين البذور فى فيرميكيوليت مندى

أحدثت معاملة بذور القنبيط والبروكولى بمحلول لكلوريد الصوديوم بتركيز ١٠٠ أو ١٥٠ أو ٢٠٠ مللى مول خفضًا فى إنبات البذور وفى قوة نمو البادرات، ودليل الإنبات، ودليل قوة النمو المبكر للبادرات، مع زيادة فى الوقت اللازم للإنبات. وعندما حُضِّنت البذور قبل زراعتها لمدة يومين فى الظلام فى مخلوط من البذور والفيرميكيوليت والماء بنسبة ١: ١,٥: ٢ (وزن/وزن/حجم) للبروكولى، وبنسبة ١: ١,٥: ١ (وزن/وزن/حجم) للقنبيط .. عندما عُرِّضت البذور لتلك المعاملة لمدة يومين على ١٥ °م، ثم لمدة يومين على ٢٠ °م فى الظلام

كذلك، فإن البذور المعاملة أظهرت زيادة فى قوة الإنبات، ودليل الإنبات، ودليل قوة النمو، وخفض فى متوسط وقت الإنبات، مقارنة بما حدث فى البذور التى لم تُعامل سواء أكانت قد تعرضت لشدِّ الملوحة، أو لم تتعرض. ولقد أدت تلك المعاملة (التى يُطلق عليها اسم solid matrix priming) إلى زيادة فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: بيروكسيديز وكاتاليز، وفى محتوى البرولين والسكر الذائب، والبروتين الذائب فى كلٍّ من بادرات البروكولى والقنبيط (Wu وآخرون ٢٠١٩).

ترطيب البذور فى محلول كلوريد كالسيوم فى تربة مزودة بالبيوشار

أدى استنبات بذور اللوبيا بترطيبها فى محلول من كلوريد الكالسيوم، مع زراعتها فى تربة مضاف إليها البيوشار إلى تحسين الإنبات فى ظروف شدِّ الملوحة. وكانت المعاملتان — معًا — أكثر كفاءة من أى منهما — منفردة — فى تحسين النمو النباتى المبكر فى ظروف شد الملوحة، حيث أدتا إلى تحسين الكتلة النباتية البيولوجية بنسبة ٨٠,٨٪، والكلوروفيل (٤٨,٨٪) وتراكم السكر الذائب (٤٩,٥٪)، وفى نفس الوقت قللتا من تراكم الصوديوم (٣٠٪) والـ MDA (٢٧,٣٪)، وأكسدة الدهون فى ظروف الملوحة، وزادتا من النشاط المضاد للأكسدة (٢٢,٢٪) ونشاط الألفاأميليز (٧٨,٧٪). وقد ساهمت كل هذه التأثيرات فى الحد من أضرار الأكسدة تحت ظروف شد الملوحة (Farooq وآخرون ٢٠٢٠).

معاملة البذور بمستخلص أوراق السرو وحامض السلسيلك

أدت معاملة بذور الكوسة الزوكينى بمستخلص أوراق شجرة السرو cypress وبحامض السلسيلك بالـ priming قبل التعريض للشدِّ الملحى إلى تحفيز نمو البادرات وقدرتها على البناء الضوئى، وزيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (SOD، و CAT، و APX، و GPX، و GR، و DHAR) فيها، وكذلك أدت إلى زيادة محتواها من كلٍّ من حامض الأسكوربك، والجلوتاثيون، والبرولين، مقارنة بما حدث

فى بادرات الكنترول التى عُرِّضت لشدِّ الملوحة ولم تعامل بذورها. كذلك أدى سبق معاملة البذور بمستخلص أوراق السرو وبحامض السلسيلك إلى خفض التأثيرات السلبية للشدِّ الملحى على استيعاب ثانى أكسيد الكربون، وزادت جوهريًّا من نشاط الـ Rubisco. هذا.. وكان مستخلص أوراق السرو أكثر فاعلية فى إحداث كل تلك التأثيرات عن حامض السلسيلك فى كلٍ من ظروف شدِّ الملوحة وعدم الشدِّ الملحى (El-Sayed وآخرون ٢٠٢٢).

تشريب البذور بالجبريللين وفوق أكسيد الأيدروجين

أظهرت جميع معاملات تشريب بذور القنبيط المختبرة (وهى بالـ H_2O_2، والـ GA_3، والـ NaCl) تأثيرًا مفيدًا على الإنبات ونمو البادرات. وكانت المعاملة بالـ GA_3 هى الأفضل فى مرحلة الإنبات لإسراع بزوغ البادرات. اما فى مرحلة نمو البادرات .. فإن البادرات التى نمت من بذور أُعيد تجفيفها بعد معاملتها بالـ H_2O_2 ، وعُرِّضت لشدٍّ ملحى أظهرت أعلى مستوى من أنيون السوبر أوكسيد (٥ أضعاف)، والـ H_2O_2 (٤ أضعاف)؛ مما أدى إلى تكوين محتوى عالٍ من الـ MDA (٢,٥ ضعف). كما أدت معاملة التشريب بالـ H_2O_2 إلى تحفيز نظامى الدفاعِ المضاد للأكسدة فى البادرات: الإنزيمى (SOD، و CAT، و GPX، و APX) وغير الإنزيمى (AsA، و GSH، والبرولين). وقد حدَّت الملوحة من نمو الأوراق (٤٣٪)، والجذور (٦٠٪) ببادرات القنبيط التى نمت من البذور التى لم تُعامل بالتشريب. وفى معاملات التشريب فإن الإسهام النسبى للـ GA_3 والـ NaCl كان أكثر تعلقًا بالنمو والتعديل الأسموزى. أما دور الـ H_2O_2 فكان مرتبطًا بقوة بالدفاع المضاد للأكسدة؛ فكانت البادرات المعاملة بالملوحة والتى نتجت من بذور عُوملت بالـ H_2O_2 الأقل محتوى فى مستويات أنيون السوبر أوكسيد، والـ H_2O_2 ، و MDA؛ مما نتج عنه أعلى نشاط فى كلٍ النظام المضاد للأكسدة (Ellouzi وآخرون ٢٠٢١).

معاملة البذور بالميلاتونين

أدت معاملة بذور الفاصوليا (بالـ priming) بالميلاتونين بتركيزات ٢٠ إلى ١٠٠ ميكرومول إلى تحفيز تحمل الملوحة بزيادة النشاط المضاد للأكسدة، وخفض لمحتوى الـ

MDA وتركيز الصوديوم، وزيادة نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم فى النمو الخضرى والجذور، مع التخلص من أضرار الأكسدة وزيادة الوزن الجاف للنباتات (Alinia وآخرون ٢٠٢١).

الإضافات العضوية للتربة

الفيرميكمبوست

أحدثت إضافة الفيرميكمبوست للتربة زيادة جوهرية فى معدل البناء الضوئى فى الفاصوليا، وفى تركيز البوتاسيوم والكالسيوم فى نسيج الورقة والجذر. وأدت المعاملة بالفيرميكمبوست للتربة بنسبة ١٠٪ إلى التغلب على شدِّ الملوحة حتى ٨٠ مللى مول/لتر من كلوريد الصوديوم. وأُوصى بإضافة الفيرميكمبوست بتلك النسبة لتحسين نمو نباتات الفاصوليا وللتغلب على شدِّ الملوحة (Beykkhormizi وآخرون ٢٠١٦).

الفحم الحيوى والبيوشار

أمكن التغلب على شدِّ الملوحة فى تربة ساحلية كانت تُروى فيها نباتات الذرة السكرية بماء ملحى (٦ أو ١٠ ديسى سيمنز/م) بالتبادل مع ماء عذب خلال مرحلتى النمو الخضرى والإزهار .. أمكن التغلب على شد الملوحة فى تلك الظروف بإضافة البيوشار biochar للتربة؛ حيث أدت معاملة البيوشار إلى تحسين البناء الضوئى والتغلب على أضرار الأكسدة وأضرار الشدِّ الملحى، مع زيادة المحصول وقيمته التسويقية. وقد سمح البيوشار بالرى بالماء الملحى بالتبادل مع الماء العذب خلال المراحل الحساسة للملوحة. كذلك أفادت إضافة البيوشار فى التخلص من ملوحة التربة أثناء تبادل الرى بالماء العذب مع الرى بالماء الملحى (Huang وآخرون ٢٠١٩).

وقد أدت الملوحة العالية فى مياه رى الباذنجان (٤ ديسى سيمنز/م) إلى خفض توصيل الثغور ومعدل البناء الضوئى، وزيادة حرارة الأوراق والتسرب الأيونى. كذلك مع ازدياد الملوحة (من ٢ إلى ٤ ديسى سيمنز/م) حدث انخفاض فى كلٍّ من النمو الجذرى (كثافة طول الجذور، وكثافة مساحة الجذور السطحية)، والنمو الخضرى (ارتفاع

النبات، وقطر الساق، والمساحة الورقية)، والمحصول وأدت المعاملة بالبيوشار biochar إلى تحسين توصيل الثغور ومعدل البناء الضوئى، وخفض حرارة الأوراق والتسرب الأيونى من أنسجة الورقة؛ مما أدى إلى تحسين النمو الجذرى والخضرى وزيادة المحصول. هذا.. ولم يكن هناك فرق فى تلك التأثيرات بين البيوشار المنتج من الخشب الربيعى اللين softwood والخشب الصيمى الصلب hardwood (Parkash & Singh ٢٠٢٠).

وقد تم تجهيز بيوشار مزود بالكبريت بعمل مخلوط ٥: ١٠٠ (وزن/وزن) من الكبريت المعدنى وبيوشار خشب الحمضيات، وأُضيف إليه معلق الكائنات الدقيقة الفعَّالة EM قبل خلطهما بالتربة. وفى ظروف شدِّ الملوحة كان لمعاملة البيوشار مع الـ EM عدة تأثيرات مفيدة على الفلفل، كان منها تحمل التجفيف dehydration (بسبب ضعف امتصاص الرطوبة فى ظل شدِّ الملوحة)، وتحسين وضع العناصر المغذية، وكفاءة البناء الضوئى، كما أنها خفَّضت جوهريًّا من تركيز الصوديوم والكاديم فى النباتات. وأدت المعاملة المزدوجة تلك إلى تحسين النمو النباتى، والمحصول، وتركيز العناصر الكبرى والصغرى، وكفاءة استعمال مياه الرى (Abd El-Mageed وآخرون ٢٠٢٠).

زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الزراعات المحمية

عندما عُرِّضت بادرات أصناف خضراء وحمراء من الخس لثانى أكسيد الكربون إما بالتركيز العادى (٤٠٠ ± ٢٠ ميكرومول/مول)، وإما بتركيز مرتفع (٧٠٠ ± ٢٠ ميكرومول/مول) لمدة ٣٥ يومًا، وبعد ذلك عُرِّضت لشد ملحى (٢٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم) لمدة أربعة أيام.. أظهرت الأصناف الحمراء قيمة غذائية أعلى عن الأصناف الخضراء؛ بسبب ارتفاع محتواها من كل من الكالسيوم والفوسفور والزنك، وكلوروفيل أ، وكلوروفيل ب، والكاروتينويدات، وحامض الأسكوربك، والفينولات الكلية، والأنثوسيانينات، ومضادات الأكسدة. ومع زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أظهرت أصناف الخس بلونيها زيادة فى امتصاص كل العناصر تقريبًا باستثناء المغنيسيوم

والحديد. وتحت ظروف شدِّ الملوحة انخفض تركيز النيتروجين والبوتاسيوم فى كل الأصناف، وكذلك انخفض تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفور فى الأصناف الحمراء. وبدا واضحًا أن الأصناف الحمراء كانت أكثر استفادة من زيادة تركيز ثانى اكسيد الكربون عن الأصناف الخضراء. وتعنى تلك النتائج أن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون منفردًا أو مع شدِّ الملوحة لفترة قصيرة يسمح بتحسين جودة القيمة الغذائية (Pérez-López وآخرون ٢٠١٥).

وأدى تعريض شتلات الطماطم لتركيز ٨٠٠ ميكرومول/مول ك أ٢ مع ٨٠ مللى مول/لتر نترات كالسيوم لمدة سبعة أيام إلى الحد من التأثيرات السلبية لشدِّ الملوحة، وذلك بزيادة تراكم الكتلة البيولوجية وبخفض التسرب الأيونى، وتركيز المالوندى ألديهايد malondialdehyde وأنيون السوبر أوكسيد superoxide anion وفوق أكسيد الأيدروجين؛ وذلك بسبب زيادة المعاملة بثانى أكسيد الكربون لنشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: superoxide dismutase، و peroxidase، و catalase. كذلك عدلت المعاملة تركيز الأحماض الأمينية الحرة والتحويل المتبادل مع البولى أمين الداخلى (الذاتى)؛ الأمر الذى حسَّن من تحمل النباتات لشدِّ الملوحة (Zhang وآخرون ٢٠٢٠).

وبعد سبعة أيام من تعريض بادرات الخيار لشدِّ ملوحة قدره ٨٠ مللى مول/لتر كلوريد صوديوم أحدثت المعاملة خفضًا جوهريًّا فى نشاط الإنزيمات: hexokinase، و phosphofructokinase، و pyruvate kinase، و isocitrate dehydrogenase، و succinate dehydrogenase، و malate dehydrogenase؛ مما سبب خفضًا فى كل من حامض البيروفك وحامض الستريك، والـ nicotinamide، والـ adenine dinucleotide، والـ adenosine triphosphate، والـ adenosine diphosphate بالأوراق. هذا.. إلاّ إن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون حتى ٨٠٠ ± ٤٠ ميكرومول/مول وفَّرت طاقة إضافية لمنع أضرار شدِّ الملوحة؛ بزيادتها لإنتاج الهكسوز من خلال زيادة نشاط إنزيم الإنفرتيز، ومن خلال زيادة الكفاءة الأيضية للـ EMP pathway-TCA cycle التى تُنتج قدرًا كبيرًا من الطاقة (Li وآخرون ٢٠٢٠).

خفض pH بيئة الزراعة فى الزراعات المحمية

كانت دلائل فلورة الكلوروفيل فى صنف الطماطم Mobil فى حدها الأدنى بعد ٢٨ يومًا من بدء المعاملة بشدِّ الملوحة فى مزرعة مائية. وقد أنتجت النباتات التى نُمِيِّت فى pH ٥,٥ أعلى وزن طازج للثمار ووزن جاف للنباتات، مقارنة بقيم الـ pH الأخرى. وعلى الرغم من أن شدِّ الملوحة أثر سلبيًّا على النمو النباتى، فإن خفض الـ pH فى محيط الجذور خفف من التأثيرات الضارة للملوحة (Nabati وآخرون ٢٠٢١).

التوقيت المناسب للرى بماء عذب

أثر الرى بماء ملحى سلبيًّا على نمو القنبيط — أساسًا — عندما أُجرى فى مراحل النمو الأوْلى. وعندما كان الرى بالماء الملحى خلال مرحلة تكوين الأقراص انخفض المحصول بسبب الحد من تراكم الماء فى القرص. ويستفاد مما تقدم إمكان إنتاج قنبيط صالح للتسويق فى ظروف الملوحة بتوقيت الرى بالمياه العذبة خلال مرحلة النمو الأوْلى، لتجنب الحد من النمو، ثم خلال مرحلة تكوين الأقراص لتجنب التأثير السلبى للملوحة على المحصول (Giuffrida وآخرون ٢٠١٧).

المعاملة بماء بخصائص معينة

ماء نانو

وُجد أن إنبات بذور الخيار ونمو البادرات يمكن ان يتحسَّنا تحت ظروف شدِّ الملوحة (EC= ٠,٧ إلى ١١ ديسى سيمنز/م) بالمعاملة بجزيئات الماء النانو nanoparticles of water residuals بتركيز ٥٠٠ أو ١٠٠٠ مجم/لتر، وذلك عند استنبات البذور فى هذا الماء (Mahdy وآخرون ٢٠٢٠).

ماء ممغنط كهربائياً

وُجد أن رى البطاطس بماء ممغنط كهربائيًّا electromagnetic water قد يكون مفيدًا فى تحسين إنتاج وجودة البطاطس فى ظروف الملوحة العالية (٨,٥ مللى سيمنز/سم) (Akrimi وآخرون ٢٠٢٠).

المعاملة البيولوجية بكائنات دقيقة

البكتيريا *Bulkhorderia cepacia*

أدت المعاملة بالبكتيريا *Bulkhorderia cepacia* (وهى بكتيريا مُنتجة للـ ACC deaminase بنشاط عال) إلى زيادة تحمل الفلفل لكل من شدِّ الملوحة وشدِّ الجفاف، وذلك بتحفيز النمو الجذرى القوى، وزيادة كتلة النبات البيولوجية (Maxton وآخرون ٢٠١٨).

بكتيريا المحيط الجذرى

أحدثت المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى *Kocuria* E 43، و *Alcaligenes* 637 Ca، و *Pseudomonas* 5316 – أو خليط منها – فى ظروف شد ملوحة وقلوية التربة.. أحدثت تحفيزًا لافتًا فى وزن ثمرة الفراولة، وأعدادها، والمحصول، والمساحة الورقية، ومحتوى الأوراق من العناصر الدقيقة، وشدة اخضرارها (SPAD)، وتوصيل الثغور، ومحتوى البروتين والبرولين، ونشاط إنزيمات الكاتاليز، والسوبر أوكسيد ديسميوتيز، والأسكوربيت بيركسيديز. وفى نفس الوقت أحدثت المعاملة خفضًا لافتًا فى محتوى الأوراق من الصوديوم، ونفاذية الأغشية الخلوية، ومحتوى فوق أكسيد الأيدروجين، والـ malondialdehyde (Arikan وآخرون ٢٠٢٠).

الطحالب الخضراء المزرقة (الـ cyanobacteria)

تُعد الـ cyanobacteria (وهى الطحالب الخضراء المزرقة) مُفيدة فى تحسين امتصاص العناصر وفى جعل النباتات أكثر تحملاً لعوامل الشدِّ البيئى مثل الملوحة. وقد وُجد أن معاملة بذور الفاصوليا بالـ cyanobacteria مع الرش الورقى بالجلوتاثيون glutathione وحامض الأسكوربيك تُفيد فى زيادة النشاط الدفاعى لنباتات الفاصوليا وجعلتها أكثر تحملاً لشدِّ الملوحة (Rady وآخرون ٢٠١٨).

المعاملة بالكائنات الدقيقة الفعالة EM

أحدث شدِّ الملوحة (٢,٥ أو ٥,٠ ديسى سيمنز/م) تأثيرات سلبية عديدة على الفاصوليا، كان منها: حدوث تدهور جوهرى فى النمو ومكونات المحصول، ومحتوى

صبغات البناء الضوئى، وصافى معدل البناء الضوئى، ومعدل النتح، وتوصيل الثغور، ومعدل انتقال الإليكترونات، ونشاط الـ Rubisco وإنزيمات أخرى، والمحتوى الكربوهيدراتى ومحتوى الأوراق من الأوكسينات والسيتوكينينات والجبريللينات. وفى المقابل.. فقد أدت المعاملة بالـ effective microorganisms (اختصارًا: EM) إلى التغلب على تأثيرات الملوحة السلبية على كلٍ من محتوى الصبغات، والقدرة على تبادل الغازات، وحافظت على ديناميكية فلورة الكلوروفيل، واستعادت عملية انتقال الإليكترونات فى البناء الضوئى وحافظت على التوازن الهرمونى الداخلى (Talaat ٢٠١٩).

الفطر الداخلى التطفلى *P. indca*

يلعب الفطر *Piriformospora indica* الداخلى التطفل (endophytic) دورًا هامًّا فى تحسين النمو النباتى فى عدد من الأنواع النباتية فى ظروف الشد البيولوجى. وفى محاولة لدراسة تأثيره فى ظروف الشدِّ البيئى، متمثلاً فى شدِّ الملوحة.. عُرِّضت نباتات الطماطم لتركيز ٢٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم لمدة شهر فى تربة خالية من مسببات الأمراض مع التلقيح بالفطر *P. indica*. ولقد وُجد أن المعاملة بالفطر حسَّنت التفرع الجذرى، والوزنين الطازج والجاف للنباتات التى عُرِّضت لشد الملوحة. كذلك أحدث استعمار الفطر لجذور الطماطم زيادة فى مستويات كلوروفيل b، وإندول حامض الخليك، ونشاط الكاتاليز والسوبر أوكسيد ديسميوتيز بالأوراق فى ظروف الشدِّ الملحى. وفى نفس الوقت قلل الفطر *P. indica* من الزيادة فى مستويات حامض الأبسيسك والبرولين، مقارنة بما حدث فى النباتات التى لم تُعامل بالفطر. كذلك كانت نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم فى أوراق وجذور النباتات التى عُوملت بالفطر أقل مما حدث فى النباتات التى لم تُعامل بالفطر، وربما كان مرد ذلك إلى التركيز العالى للبوتاسيوم الذى لوحظ فى أوراق وجذور النباتات التى عُوملت بالفطر فى ظروف شدِّ الملوحة. وقد أدت المعاملة بالفطر إلى زيادة محصول الثمار بنسبة ٢٢٪ فى الظروف العادية، وبنسبة ٦٥٪ فى ظروف شدِّ الملوحة (Abdelaziz وآخرون ٢٠١٩).

الميكوريزا

ثبطت التربة الملحية القلوية saline-alkali soil من نمو نباتات الطماطم. وعندما أُضيفت الميكوريزا تحسَّن نمو النباتات جوهريًّا، وازداد محتوى الثمار من المواد الصلبة وفيتامين ج، والسكر الذائب، والليكوبين، كما حسَّنت الميكوريزا من امتصاص النباتات للنيتروجين وقللت امتصاصها للصوديوم، وحَدَّت من انتقال الصوديوم من الجذور إلى النموات الخضرية؛ مما أدى إلى زيادة نسبة كلٍّ من البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم إلى الصوديوم بالأوراق والسيقان، كما وفَّرت حماية لأعضاء البناء الضوئى من الأضرار. كذلك أدت إضافة الميكوريزا إلى زيادة فى كل من تركيز الكلوروفيل، وصافى معدل البناء الضوئى. وتوصيل الثغور، ومعدل النتح. كما أثَّرت إضافة الميكوريزا إيجابيًّا على تركيبة الكائنات الدقيقة فى المحيط الجذرى؛ بزيادة كثافة البكتيريا والأكتينوميسيتات، وخفض كثافة الفطريات. كذلك مَكَّنت إضافة الميكوريزا نباتات الطماطم من زيادة تراكم المواد الصلبة الذائبة والبرولين، وتغلبت على أضرار الأكسدة تحت ظروف الملوحة العالية (Kong وآخرون ٢٠٢٠).

وعندما عُوملت نباتات الخس بميكوريزا عُزلت من كثبان رملية ساحلية ملحية (*Innospora* spp.، و *Diversispora* spp.)، أو من تربة حقلية غير ملحية (*Rhizophagus intraradices*)، أو من أرض صحراوية (*Septoglomus deserticola*) — بالإضافة إلى معاملة كنترول لم تُلقح بالميكوريزا — ثم شتلها فى أصص بها تربة ملحية (EC= ١٢,٧٩ ديسى سيمنز/م) فإن نباتات جميع المعاملات تساوت فى معدل نموها، وفى الكتلة البيولوجية للأوراق، لكن المعاملة بالميكوريزا الساحلية حثت نموًّا جذريًّا أفضل وازداد فى نباتاتها امتصاص البوتاسيوم وانخفض تراكم البرولين فى نمواتها الخضرية. ويستفاد مما تقدم بيانه أن عزلات الميكوريزا من مصادر مختلفة تتباين فى تأثيراتها فى ظروف شد الملوحة (Tigka & Ipsilantis ٢٠٢٠).

المعاملة بمحفزات النمو البيولوجية

تُعَّرف محفزات النمو البيولوجية بأنها كائنات دقيقة أو منتجات مُتحصل عليها من مواد عضوية مختلفة، وتؤثر إيجابيًّا على النمو، وتحِد من التأثيرات السلبية لعوامل الشدِّ البيئى.

تحضيرات تجارية

دُرِس تأثير معاملة بذور الطماطم بغلاف coating من بعض التحضيرات التجارية البيولوجية المحفزة للنمو، أو معاملة تربة الزراعة سقيًّا بها (التربة إما خصبة تُزرع تقليديًّا بالخضر، وإما تربة ملحية وذات محتوى عالٍ من كربونات الكالسيوم ومنخفضة فى محتواها من المادة العضوية)، وكانت التحضيرات التجارية هى: Powhumus (اختصارًا: PH)، و Huminbio Microsense Seed (اختصارًا: SC)، و Huminbio Microsense Bio (اختصارًا: RE)، و Fulvagra (اختصارًا: FU). ولقد أدت المعاملة بأى من محفزات النمو إلى تحسين النمو النباتى والمحصول مقارنة بالكنترول فى نوعى تربة الزراعة، وكانت كفاءتها أعلى فى التربة الثانية (الملحية) عما فى التربة الأولى الخصبة. وأحدثت المعاملة – كذلك – خفضًا فى كلٍّ من النشاط المضاد للأكسدة، والـ H_2O_2، والـ MDA بالنبات فى نوعى التربة، كما ازداد نشاط البيروكسيديز ومحتوى السكروز بالنبات جراء المعاملة فى التربة الملحية (Turan وآخرون ٢٠٢١).

عسل النحل

أدى رش نباتات البصل من صنفى جيزة أحمر، وجيزة ٢٠ النامية فى تربة ملحية (EC = ٨,٨١ ديسى سيمنز/م) بعسل النحل المخفف، وذلك بمعدل ٢٥–٥٠ جم/لتر إلى حماية النباتات من شدِّ الملوحة؛ بتعديله للنظام المضاد للأكسدة، وبزيادته لإنتاج الكتلة البيولوجية ومحصول الأبصال وكفاءة استخدام المياه، ومحتوى الأوراق من الكلوروفيل والصبغات وثبات الأغشية الخلوية، والمحتوى المائى النسبى ومضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية بالصنفين (Semida وآخرون ٢٠١٩).

بروتين دماء الحيوانات

وُجد أن معاملة نباتات الطماطم — المعرضة لظروف شد ملحى — لبروتين protein hudrolysates متحصل عليه من دماء الخنازير خفف جوهريًا من مظاهر النقص فى النمو النباتى، وفى مستوى الكلوروفيل وكفاءة البناء الضوئى التى يسببها شد الملوحة. كذلك أمكن التغلب على الشدّ الأسموزى وسمية الأيونات التى يُسببها شد الملوحة بالمعاملة بهذا البروتين، وذلك من خلال زيادة المعاملة لتراكم البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم. كما خفّفَت المعاملة من الشدّ التأكسدى الذى يُحدثه شد الملوحة بتحفيز مستويات مضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية (Zhou وآخرون ٢٠٢٢).

مستخلصات نباتية

المورنجا

أدت معاملة نقع بذور الفاصوليا مع الرش بكلٍّ من حامض السلسيلك بتركيز ١ مللى مولى، ومستخلص أوراق المورنجا *Moringa oleifera* بتركيز جزء واحد من المستخلص: ٣٠ جزء ماء — مجتمعين — إلى التغلب على التأثيرات المثبطة للملوحة (EC = ٦,٢٣ — ٦,٢٨ ديسى سيمنز/م) على نمو وفسيولوجيا النباتات والمحصول وخصائصهما (Rady & Mohamed ٢٠١٥).

مستخلص حبوب الذرة

أدت معاملة نباتات الفاصوليا النامية فى ظروف شدٍّ ملحى قدره ٧,٥١ ديسى سيمنز/م) رشًّا بمستخلص حبوب الذرة (مستخلص مائى أو كحولى) إلى حماية النباتات من أضرار الملوحة بتحسينها للنمو والمحصول، وبزيادتها لنشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: سوبر أوكسيد ديسميوتيز، وكاتاليز، وبيروكسيديز، وكذلك زيادة محتوى الجلوتاثيون وحامض الأسكوربك (Rady وآخرون ٢٠١٩).

وقد دُرس تأثير الرش الورقى بمستخلص حبوب الذرة بمعدل ٦٠ جم/لتر ومستخلص البروبولس propolis (أحد منتجات نحل العسل) بمعدل ٤٠ جم/لتر على نمو وإنتاجية

الفول الرومى المعرض لشدّ جفافى (٤٠٪ من السعة الحقلية)، أو لشد ملوحة (١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم)، أو لشد كادميم (٢,٠ مللى مول كادميم). أظهرت الدراسة أن جميع حالات الشدِّ أحدثت خفضًا جوهريًّا فى المحصول، وكفاءة البناء الضوئى، ومحتوى الصبغات، وتبادل الغازات، ومحتوى الماء النسبى، ودليل ثبات الأغشية، ومحتوى الحاميات الأسموزية، مقارنة بالوضع فى نباتات الكنترول. وأدت معاملتى مستخلص حبوب الذرة ومستخلص البروبولس منفردتين إلى تحسين تحمل النباتات للشد، وإلى زيادة نشاط الإنزيمات: SOD، و CAT، و POX، و APX، ومستويات مضادات الأكسدة: البرولين والجلوتاثيون والأسكوربيت، والألفا توكوفيرول. وكانت المعاملة المزدوجة بالمستخلصين الأكثر كفاءة. وبينما أدى شد الملوحة إلى زيادة محتوى الصوديوم فى النباتات، فإن المعاملة المزدوجة بالمستخلصين خفَّضت محتوى الصوديوم بنسبة ٣٩,٦٪، و١٦,٧٪، و٣٧,٠٠٪ فى حالات شدِّ الملوحة والجفاف والكادميم، على التوالى (Desoky وآخرون ٢٠٢١).

بذور القرع العسلى

يُعد بروتين بذور القرع العسلى المتحلل pumpkin seed protein hydrolysate (اختصارًا: PH) مُنشطًا بيولوجيًّا غنى بالنشاط المضاد للأكسدة والببتيدات والأحماض الأمينية، وهو قادر على تحسين تحمل النباتات للشدِّ البيئى. ولقد وُجد أن رى الفاصوليا بمحلول ملحى من كلوريد الصوديوم بتركيز ٣,٩ أو ٧,٨ ديسى سيمنز/م أحدث زيادة فى محتوى النباتات من الصوديوم، وانخفاضًا فى محتواها من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم، وصبغات البناء الضوئى بالأوراق، ومحتوى الماء النسبى ودليل ثبات الأغشية الخلوية، وكل هذه الآثار السلبية أمكن التغلب عليها بالرش الورقى ثلاث مرات بالـ PH بتركيز ١٠٠٠ أو ٢٠٠٠ ميكروليتر/لتر. وتحت تأثير الملوحة ازداد محتوى كلاً من الـ MDA والبرولين والسكريات الذائبة والجلوتاثيون ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، لكن تلك التأثيرات تحسَّنت بالرش بالـ PH، وتحسَّن النمو النباتى وقياسات المحصول التى تأثرت سلبيًّا بالملوحة (Sitohy وآخرون ٢٠٢٠).

مستخلص أوراق الفينوكيا والأمّى ammi

أدى رى نباتات اللوبيا بماء بحر مخفف إلى ٣,٥ أو ٧ ديسى سيمنز/م إلى زيادة محتوى الصوديوم، والتسرب الأيونى، وعلامات شد الأكسدة البيولوجية (الـ MDA، وفوق أكسيد الأيدروجين، والعناصر المحبة للأكسدة)، وهى التى ترافقت مع زيادة فى تركيزات ونشاط الحاميطات الأسموزية والجهاز المضاد للأكسدة (الإنزيمى وغير الإنزيمى). ومن ناحية أخرى حدث انخفاض فى كلٍّ من النمو، والمحتوى المائى النسبى بالأوراق، ودليل ثبات الأغشية الخلوية، وكفاءة البناء الضوئى، ومحتوى العناصر (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم) ونسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم، ومظاهر التشريح النباتى. وكانت التأثيرات السيئة للملوحة أشد وضوحًا فى شدٍّ قدره ٧,٠ ديسى سيمنز/م. وقد أدى الرش بمستخلص أوراق أى من الفينوكيا أو الأمّى ammi إلى إحداث زيادات جوهرية فى محتوى الحاميطات الأسموزية وفى نشاط مكونات النظام المضاد للأكسدة؛ الأمر الذى انعكس على خفض فى محتوى الصوديوم والتسرب الأيونى، وعلامات شدِّ الأكسدة البيولوجية، وزيادة فى النمو، وصفات المحصول، والمحتوى المائى النسبى، ودليل ثبات الأغشية الخلوية، وكفاءة البناء الضوئى ومحتوى العناصر ونسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم، ومظاهر التشريح النباتى. هذا وكان الرش بمستخلص الفينوكيا أفضل تأثيرًا فى التغلب على أضرار الملوحة عن الرش بمستخلص الـ ammi (Desoky وآخرون ٢٠٢٠).

المعاملة بمركبات عضوية

الجلوكوز

أحدث تعريض بادرات الخيار لشدٍّ ملحى لمدة ٧ أيام نقصًا جوهريًّا فى ارتفاع النبات، والوزنين الرطب والجاف للبادرات. ولقد أمكن التغلب بكفاءة على تثبيط النمو المستحث بفعل الملوحة برش البادرات بالجلوكوز بتركيز ١٠٠ مللى مول/لتر. ولقد أدت المعاملة بالجلوكوز إلى خفض محتوى الـ malondialdehyde، وإلى التحكم فى التراكم

الزائد للعناصر المحبة للأكسدة، كما أدت إلى زيادة فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، مثل: السوبر أوكسيد ديسيميوتيز، والبيروكسيديز، والكاتاليز، والأسكوربيت بيروكسيديز، ونظمت التعبير الجينى الذى يشفر لتلك الإنزيمات، وهى التى قللت من ضرر الأكسدة المستحث بفعل شد الملوحة. ولقد أحدث شدٌّ الملوحة نقصًا جوهريًّا فى أيون النترات، لكن مع زيادة جوهرية فى أيون الأمونيوم. ومع ذلك .. فقد أحدثت معاملة الجلوكوز زيادة جوهرية فى نشاط إنزيمى nitrate reductase، و nitrite reductase فى أوراق الخيار المعرضة لشدِّ الملوحة، وترافق ذلك مع تعديل التعبير الجينى للإنزيمات المفتاحية فى أيض النيتروجين؛ ومن ثم حفَّزت تحول النيتروجين الأمونيومى إلى أحماض أمينية وبروتينات (Ma وآخرون ٢٠٢٠).

الأحماض الأمينية

أدت الملوحة العالية فى المزارع المائية إلى الحدِّ من نمو نباتات الطماطم، إلاّ أن رش النباتات بأى من معاملات الأحماض الأمينية التالية: Met + Trp، أو Pro + Glu، أو L-Met أدى إلى إعكاس التأثيرات السلبية للملوحة العالية. ولم يكن مرد ذلك التأثير إلى أى اختلافات فى تركيز الكلور أو الصوديوم بالأوراق، أو إلى أى تغير فى الحالة المائية بالنباتات، لكن كان مرده إلى تراكم السكريات الكلية الذائبة، وهى التى ربما أوقفت نشاط العناصر المحبة للأكسدة التى يزداد تواجدها فى ظروف الملوحة العالية (Alfosea-Simón وآخرون ٢٠٢٠).

كما أمكن التغلب على شدِّ الملوحة فى المزارع المائية للخس باستعمال غطاء بلاستيكى أبيض للبيت المحميِّ مع الرش بالبرولين بتركيز ٥ ميكرومول؛ حيث أدى ذلك إلى زيادة المحصول تحت ظروف الملوحة (Orsini وآخرون ٢٠١٨).

ويُعد جاما–أمينو حامض البيوترك gamma-amiobutyric acid حامض أمينى حر يُحفِّز تحمل النباتات لحالات الشدِّ البيئى. ووُجد أن أكسيد النيتريك nitric ixide يرتبط بعمليات فسيولوجية عديدة فى النباتات استجابة للشد. وفى الكنتالوب وُجد أن أكسيد

النيتريك يتوسط فى تحمل الملوحة والقلوية المستحثة بفعل الحامض الأمينى الحر بتنظيم مضادات الأكسدة وتوازن الصوديوم إلى البوتاسيوم للمحافظة على الأغشية الخلوية. ويزداد إنتاج أكسيد النيتريك بفعل كل من شدِّ الملوحة والقلوية وكذلك بسبق المعاملة بالحامض الأمينى، فضلاً عن زيادة المعاملة بالحامض الأمينى لكل من نشاط النيتريت ردكتيز والـ nitric acid synthase فى ظروف شدِّ الملوحة والقلوية (Xu وآخرون ٢٠٢١).

الجليسين بيتين

أدت معاملة الفاصوليا بالجليسين بيتين glycine betaine إلى زيادة المكونات الكيميائية ذات الصلة بتحمل الملوحة سواء أكانت غير عضوية (نيتروجين وفوسفور وبوتاسيوم، مع نقص فى الصوديوم والكلور بالأوراق) أو عضوية (الكلوروفيل أ + ب، والكاروتينويدات، والأنثوسيانين، والفينولات الكلية والفلافونويدات الكلية) وكذلك زيادة فى المحصول ومكوناته. وكان للمعاملة بالجليسين بيتين تأثيرًا عالى الفعالية فى تحسين نمو ومحصول الفاصوليا تحت ظروف شد الملوحة (٣,٠ أو ٥,٠ ديسى سيمنز/م) (Taha & Osman ٢٠١٨).

البوترسين

أدى تعريض الخيار لشدِّ الملوحة إلى زيادة فى عدد حبيبات النشا بالبلاستيدات الخضراء ومحتوى النشا بالأوراق؛ مما أدى إلى تدمير أعضاء البناء الضوئى وضعف البناء الضوئى. هذا.. إلاّ إن المعاملة بالبوترسين putrescine قللت من عدد حبيبات النشا ووفرت حماية لأعضاء البناء الضوئى؛ ومن ثم زيادة البناء الضوئى. ومن جهة أخرى فإن معاملة البوترسين قللت من نشاط الـ AGPase، وزادت من نشاط الـ β-amylase؛ مما حدَّ من تراكم النشا بالأوراق. وتزيد المعاملة بالبوترسين من مستويات البولى أمينات (Shen ٢٠١٩).

الجلوتاثيون (GSH)

أحدث شدِّ الملوحة (١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم) ضررًا بالطماطم، تتضمن تثبيطًا لنمو البادرات، وإحداث حالة من عدم التوازن الأيونى داخل الخلايا بسبب تراكم أيونا

الصوديوم والكلور فى الجذور والأوراق، وضعف القدرة على نقل أيونات البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم من الجذور إلى الأوراق. كذلك أحدث شد الملوحة زيادة فى مستويات البولى أمينات بالأوراق. ولقد أدت المعاملة بالـ L-buthionine-sulfoximine (اختصارًا: BSO) — وهو مثبط للإنزيم المسئول عن تمثيل الجلوتاثيون glutathione، وهو gamma-glutamylcysteine synthetase.. أدت المعاملة به فى ظروف الشدِّ الملحى إلى زيادة شدة تثبيط النمو وعدم التوازن الأيونى، وزيادة تراكم البولى أمينات: هذا.. إلاّ إن المعاملة الخارجية بالجلوتاثيون قللت من محتوى الجذور والأوراق من أيونى الصوديوم والكلور فى ظروف الملوحة، وكذلك فى ظروف الملوحة مع المعاملة بالـ BSO؛ حيث انتظم التوازن الأيونى وتوزيع الميتوكوندريات، مع تثبيط للانتقال النشط للصوديوم، وتحفيز لانتقال البوتاسيوم والكالسيوم من الجذور إلى الأوراق؛ وبذا.. أمكن تجنب عدم التوازن الأيونى وأضرار شد الملوحة. ولقد خفضت المعاملة بالـ GSH من مستويات أنشطة إنزيمات أيض البولى أمينات المفتاحية (Zhou وآخرون ٢٠١٩).

المعاملة بالمركبات المخلبية

أدت معاملة التربة بالمركب المخلبى ethylenediamine-N,N'- dissucinic acid (اختصارًا: EDDS) بمعدل ١–٣ مللى مول/كجم من التربة فى وجود مستويات عالية من الملوحة (٩ مللى مول كلوريد صوديوم/لتر إلى تحسين النمو الخضرى والثمرى والمحتوى الكلوروفيللى فى الفراولة (Aslantas وآخرون ٢٠١٧).

المعاملة بالمركبات الدبالية (الهيوميت)

أدت إضافة هيومات البوتاسيوم potassium humate للتربة بمعدل ٧٠ أو ١٤٠ كجم/هكتار (٢٩,٥ أو ٥٩ كجم/فدان) إلى زيادة كل خصائص نمو الفاصوليا (ارتفاع النبات، وعدد الأوراق، والمساحة الورقية، وقطر الساق، والوزن الجاف للنمو الخضرى)، كما أدت المعاملة إلى تحسُّن جوهرى فى نفاذية الأغشية الخلوية (Taha & Osman ٢٠١٨).

وأدى تعريض نباتات صنفين من الفراولة لشدٍّ ملحى قدره ٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم إلى خفض كل صفات النمو الخضرى تقريبًا، وإلى تراكم الصوديوم بالنموات الخضرية والجذور، مع خفض فى محتوى البوتاسيوم. هذا.. بينما أدت المعاملة بحامض الهيوميك بتركيز ١٥٠ أو ٣٠٠ جزء فى المليون — مع التعريض لشدِّ الملوحة — إلى خفض تراكم الصوديوم وزيادة تراكم البوتاسيوم. وبينما أدى التعريض للشدِّ الملحى إلى زيادة المساحة المتحللة بالأوراق، وفى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، ومحتوى فوق أكسيد الأيدروجين، وإلى زيادة أكسدة الدهون، وزيادة محتوى البرولين، والكربوهيدرات الكلية الذائبة، فإن إضافة حامض الهيوميك إلى المحلول المغذى أدت إلى التغلب على كل تلك الصفات، وزيادة دليل تحمل الملوحة، كما أثرت الملوحة سلبيًّا على كلٍّ من محتوى الماء النسبى بالأوراق، ودليل ثبات الأغشية الخلوية، ومحتوى الكلوروفيل، والكتلة البيولوجية الكلية، والمحصول، لكن المعاملة بحامض الهيوميك أدت إلى التغلب على تلك التأثيرات السلبية للملوحة (Sadimoradi وآخرون ٢٠١٩).

المعاملة بالعناصر المغذية

البوتاسيوم

أدى التسميد بالبوتاسيوم عن طريق التربة (٤,٥ مللى مول) أو رشًّا على الأوراق (٢٪) إلى التغلب على شد الملوحة (EC = ٧,٥ ديسى سيمنز) فى الطماطم بتحسين الكتلة البيولوجية، وزيادة محتوى الكلوروفيل وتوصيل الثغور ونسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم (Jan وآخرون ٢٠٢٠).

النيتروجين والفوسفور

وُجد أن التسميد المعتدل بالنيتروجين والفوسفور تحت ظروف شدِّ الملوحة (١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم) أحدثت زيادة جوهرية فى تراكم الكتلة البيولوجية بالطرطوفة، وفى محتوى النيتروجين الكلى، والبناء الضوئى، مع تحسن فى محتوى النبات من البوتاسيوم والكالسيوم، والمغنيسيوم، وخفض فى محتواها من الصوديوم. هذا.. إلاّ إنه تحت ظروف

الملوحة كان النمو ضعيفاً عندما كان معدل التسميد بالنيتروجين منخفضًا أو بالنيتروجين والفوسفور مرتفعًا (Yin وآخرون ٢٠٢٢).

الكالسيوم

أحدثت الملوحة العالية (١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم) خفضًا فى نمو بادرات الطماطم وفى طول النمو الخضرى والجذور، والوزن الجاف والطازج للجذور والنمو الخضرى، وثبات الأغشية الخلوية، والمحتوى المائى النسبى، والمساحة الورقية، بينما أدت إضافة الكالسيوم بتركيز ١٠ مللى مول كالسيوم إلى التغلب على التأثيرات السلبية للملوحة على دلائل النمو (Tanveer وآخرون ٢٠٢٠).

الكالسيوم وحامض الهيوميك

أدت معاملة التربة قبل زراعة الفلفل بنترات الكالسيوم بتركيز ٦٠ مجم/كجم من التربة، أو المعاملة بحامض الهيوميك للتربة خلال مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الثالثة بمعدل ٧٥٠ أو ١٥٠٠ مجم/كجم من التربة.. أدت إلى إحداث زيادات جوهرية فى دلائل النمو، وهى RWC (المحتوى المائى النسبى للأوراق)، وصبغات البناء الضوئى، والمحتوى المعدنى، ومحتوى مضادات الأكسدة غير الإنزيمية بالنباتات، وذلك فى الظروف الطبيعية وظروف الشدِّ الملحى بالرى بالماء الملحى بتركيز ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم. كذلك تحسَّن محتوى الثمار من المركبات المضادة للأكسدة ومن الكابسايسين والليكوبين والبيتاكاروتين والفينولات الكلية والنشاط المضاد للأكسدة، وذلك بإجراء تلك المعاملات. وكان الجمع بين المعاملات بنترات الكالسيوم بتركيز ٦٠ مجم/كجم من التربة والمعاملة بحامض الهيوميك بتركيز ١٥٠٠ مجم/كجم من التربة الأكثر فاعلية فى تحسين الصفات التى ذُكرت آنفًا، وذلك تحت ظروف الشدِّ الملحى (Akladious & Mohamed ٢٠١٨).

الكالسيوم والسكر

دُرِس تأثير نمو البطاطا فى ٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم لمدة ٢١ يومًا فى صنفين،

هما: Japanese Yellow (اختصارًا: JPY)، و Blackie (اختصارًا: BLK)، وُجد ما يلي:

١- تساقطت أوراق الصنف JPY بوضوح؛ مما أدى إلى نقص المساحة الورقية؛ حيث وصلت إلى ٦٠٪ من المساحة الورقية فى الكنترول.

٢- ازداد محتوى الصوديوم فى جذور الصنف BLK إلى ٥٤,١٨ مجم/جم مادة جافة، مقارنة بمحتوى الصوديوم فى السيقان والأوراق.

٣- ازداد محتوى الصوديوم فى جميع الأعضاء النباتية فى الصنف JPY؛ مما أدى إلى انخفاض معدل البناء الضوئى لتصبح ٧١٪ مما فى الكنترول.

٤- أدت التغذية بالكالسيوم والسكر الذائب إلى التغلب على سمية الصوديوم، وخاصة فى الصنف BLK.

٥- وُجدت علاقة عكسية بين تراكم الصوديوم ومحتوى كلوروفيل ب، وعلاقة موجبة بين كلوروفيل ب ومعدل البناء الضوئى (Kitayama وآخرون ٢٠٢٠).

الكبريت

أدى تعريض نباتات الخس فى مزرعة مائية لشدٍّ ملحى قدره ٤٠ مللى مول كلوريد صوديوم إلى خفض النمو والبناء الضوئى وتوصيل الثغور، لكن تلك التأثيرات أُضعِفت بالرش الورقى بالكبريت بتركيز ١,٥ جم/لتر، وهى المعاملة التى أعطت — كذلك — أفضل نمو فى حالة عدم التعرض لشدِّ الملوحة. ولقد أدت الملوحة إلى زيادة نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم فى الأوراق، لكن ذلك التأثير اضمحل فى النباتات التى رُشِّت بالكبريت. كذلك لوحظ انخفاض فى الضرر للأغشية الخلوية — جراء تأثير الملوحة — عندما رُشت النباتات بالكبريت، وكانت أعلى فى معدل البناء الضوئى وأقل فى مستويات فوق أكسيد الأيدروجين، مع زيادة فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، مثل الأسكوربيت بيروكسيديز والكاتاليز. ورغم أن شد الملوحة أحدث نقصًا فى محتوى النبات من العناصر، فإن ذلك الانخفاض كان أقل جوهريًّا بالنسبة لعنصرى البوتاسيوم والفوسفور فى النباتات التى عُومِلت بالكبريت (de Souza Freitas وآخرون ٢٠١٩).

المعاملة بعناصر غير مغذية (غير ضرورية للنبات)

السيليكون

الفلفل

يُعد السيليكون ثانى أكثر العناصر وفرة فى التربة، وله تأثيرات مفيدة عديدة للنباتات، وخاصة فى التغلب على ظروف الشدِّ البيئى. ولقد وُجِد أن إضافة السيليكون الذائب لبيئة زراعة الفلفل كان له تأثيرًا كبيرًا فى تحسين النمو النباتى بتحفيزه البناء الضوئى، وتوصيل الثغور، وحالة الماء بالأوراق، وثبات الأغشية الخلوية، وهى أمور أدت إلى زيادة إنتاج الكتلة البيولوجية تحت ظروف شدِّ الملوحة، وخاصة فى الأصناف الحساسة للملوحة من الفلفل. ويُستفاد من هذه الدراسة إمكانية الاستفادة من المعاملة بالسيليكون فى تحسين إنتاجية أصناف الفلفل الحاسة للملوحة عند زراعتها فى الأراضى المعتدلة الملوحة، والأصناف المتحملة للملوحة عند زراعتها فى الأراضى الأعلى فى مستوى الملوحة (Altuntas وآخرون ٢٠١٨).

الطماطم

أدت المعاملة بسيليكات الكالسيوم إلى حماية نباتات الطماطم من أضرار الملوحة، حيث وُجد أن المعاملة بسيليكات الكالسيوم قللت من أضرار الملوحة العالية والتى تمثلت فى حدوث خفض جوهرى فى دلائل النمو والثغور والتى شملت — كذلك — تراكمًا فى تركيز الصوديوم وانخفاضًا فى البوتاسيوم، مع انخفاض فى محتوى الأوراق من الكلوروفيل والكاروتينويدات، وذلك مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول (Wasti وآخرون ٢٠١٧).

كما أدت المعاملة بتركيزات من السيليكون تراوحت بين ٠,٥، و٢,٠ مللى مول فى الطماطم إلى تحسين النمو النباتى، كما أدى تركيز ١,٠ مللى مول إلى زيادة محصول الثمار، وذلك فى غياب شدِّ الملوحة. أما فى ظروف الملوحة (٤٤,٤ مللى مول كلوريد الصوديوم) فإن المعاملة بالسيليكون أدت إلى زيادة محصول الثمار والنمو النباتى الذى تحسَّن — كذلك — عند تركيز ٧٠,٤ مللى مول من كلوريد الصوديوم. وبينما أدى شدِّ

الملوحة إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة وإلى خفض الرقم الأيدروجينى (pH) لعصير الثمار، فإن معاملة السيليكون رفعت جوهريًا من pH عصر الثمار، وقللت جوهريًا من عدد الثمار فى التركيزات العالية من كلوريد الصوديوم (Korkmaz وآخرون ٢٠١٨).

كذلك أدت ملوحة قدرها ٥٠ مللى مول/لتر من كلوريد الصوديوم إلى خفض حجم النمو النباتى والمحصول فى الطماطم، مع إحداث زيادة فى أعراض الإصابة بتعفن الطرف الزهرى هذا.. بينما أدت المعاملة بالسيليكون بمعدل ٢ مللى مول/لتر من K_2SiO_3 – فى نفس وقت المعاملة بشدٍّ الملوحة – إلى التغلب على أضرار الملوحة؛ بزيادة المحصول وقلة حالات الإصابة بتعفن الطرف الزهرى. ومن المزايا الأخرى التى حققتها المعاملة بالسيلينيم (قبل أو بعد الحصاد) زيادة صلابة الثمار؛ مما أدى إلى زيادة قدرتها التخزينية (Costan وآخرون ٢٠١٩).

هذا.. ولم يكن للمعاملة بأى من السيليكون أو بستة أنواع من بكتيريا المحيط الجذرى المحفَزة للنمو *Bacillus* spp. أى تأثير إيجابى على الطماطم النامية فى مزرعة مائية فى غياب أى شدٍّ ملحى. أما تحت ظروف الشد الملحى فإن المعاملة بالسيليكون خفْضت من محتوى النمو الخضرى من كلٍّ من الكلورين والكالسيوم، بينما خفَضت المعاملة بالبكتيريا من تركيز البوتاسيوم. ووُجد أن المعاملة بالسيليكون حسنت من التغلب على شد الملوحة ومن خصائص النمو خلال المراحل المبكرة من نمو الخيار. كذلك أظهرت معاملة البذور بالـ *Bacillus* spp. قبل زراعتها من النمو النباتى وبعض خصائص النمو فى ظروف الشد الملحى، وإن لم تكن بنفس درجة تأثير معاملة السيليكون (Kaloterakis وآخرون ٢٠٢١).

وقد دُرس تأثير مستويات مختلفة من الملوحة فى المحلول المغذى (صفر، و٢٠، و٦٠ مللى مول كلوريد صوديوم) مع مستويات مختلفة من السيليكون (صفر، و ١,٥ مللى مول Si) على الطماطم فى مزرعة مائية مغلقة. ولقد وُجد أن الوزن الجاف للنمو الخضرى ومحصول الثمار انخفض بزيادة الملوحة، إلاّ إن السيليكون أعاد الكتلة

البيولوجية والمحصول إلى طبيعتهما جزئيًّا عندما كان تركيز الملوحة ٢٠ مللى مول كلوريد صوديوم. وأظهرت النباتات التى عُومِلت بالسيليكون تركيزًا للصوديوم يقل بمقدار ١٩٪، و٣٢٪ فى تركيزى الملوحة ٢٠، و ٦٠ مللى مول كلوريد صوديوم، على التوالى. وتغلبت معاملة السيليكون جزئيًّا على عدم التوازن فى نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم التى سببتها الملوحة، وكانت الزيادات فى نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم ونسبة الكالسيوم إلى الصوديوم فى النمو الخضرى مرتبطة بزيادة الكتلة البيولوجية للنمو الخضرى. وأدت معاملة السيليكون إلى زيادة قدرها ٦٠٪ فى نشاط البيروكسيديز ومحتوى البرولين عند تركيز ملوحة ٦٠ مللى مول كلوريد صوديوم. وقد أدت معاملة السيليكون إلى استفادة محصول الثمار جزئيًّا فى الملوحة المعتدلة بسبب زيادة استبعاد الجذور للصوديوم، وانخفاض محتوى النمو الخضرى من الصوديوم، والتحسن فى محتوى البوتاسيوم والكالسيوم والتوازن بين نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم (Hernándes-Salinas وآخرون ٢٠٢٢).

وأدت إضافة السيليكون للطماطم المعرضة لظروف شد ملحى إلى تأثير الشيخوخة التى يحدثها شد الملوحة، وذلك بتقليل تحلل الكلوروفيل جوهريًّا، وكان ذلك مُصاحبًا بزيادة فى مستوى السيتوكينين وحامض الأبسيسك فى النباتات. ولقد أدت معاملة النباتات بمثبط لتمثيل السيتوكينين إلى إلغاء تأثير إضافة السيليكون فى تأخير الشيخوخة (Gou وآخرون ٢٠٢٢).

البصل

وُجد أن الشدّ الملحى العالى (حتى ٤,١ ديسى سيمنز/م) قلل محصول البصل والكتلة الطازجة للبصلة، وزاد من إنتاج الأبصال الصغيرة (الأقل من ٥ سم فى القطر)، وأثّر سلبيًّا فى ثبات الأغشية الخلوية والمحتوى المائى النسبى ومحتوى الكلوروفيل الكلى والكاروتينويدات، كما أثرت الملوحة العالية سلبيًّا فى صلابة الأبصال والـ pH وتركيز المواد الصلبة الذائبة ونسبة المواد الصلبة إلى الحموضة المعايرة. وفى المقابل.. فإن التسميد بالسيليكون فى صورة سماد أرضى دياتومى diatomaceous مُتحصل عليه من

النوع *Melosira granulata* (حتى ١٦٦,٤ كجم Si/ هكتار، أو نحو ٧٠ كجم Si/فدان) أحدث تحسنًا فى محتوى نباتات البصل من الكلوروفيل والكاروتينويدات والسكريات الكلية والمواد الصلبة الذائبة وحامض الأسكوربك وحامض البيروفك، وحفزت تأقلم البصل على الشد الملحى. وكان معدل تسميد قدره ٧٨,٥ كجم من السيليكون للهكتار (٣٣ كجم/فدان) هو المعدل المناسب للتسميد فى ظروف الشدِّ الملحى (Venancio وآخرون ٢٠٢٢).

الفراولة

أدت إضافة السيليكون فى صورة سيليكات البوتاسيوم بطريق الرى فى مزرعة لا أرضية للفراولة – وذلك تحت ظروف شدِّ ملحى قدره ٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم – إلى التغلب على التأثيرات السلبية للملوحة على المادة الجافة، والمساحة والورقية، وطول الجذور وحجمها، والمحتوى المائى النسبى للأوراق ومحتوى الكلوروفيل، كما تغلبت المعاملة على ما أحدثته الملوحة من أضرار أكسدة وهى التى تمثلت فى خفض دليل ثبات الأغشية الخلوية، وزيادة محتوى الـ malondialdehyde وفوق أكسيد الأيدروجين (Yaghubi وآخرون ٢٠١٦).

وأحدث تعريض نباتات الفراولة لشدِّ ملحى قدره ٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم تأثيرات سلبية على الـ phyllochron، والإزهار، وعقد الثمار، وإنتاج الثمار. كما أدت معاملة الشدِّ الملحى إلى الحدِّ من عدد الخلايا البرانشيمية وسمك الأوراق وسمك خلايا البشرة وسمك الميزوفيل؛ ومن ثم أدى إلى الحد من محتوى الكلوروفيل وكفاءة البناء الضوئى. هذا.. إلاّ إن المعاملة بنانو ثانى أكسيد السيليكون قبل الإزهار (بتركيز ٥٠ أو ١٠٠ مجم/لتر)، أو بعده (بتركيز ٥٠ مجم/لتر) أدت إلى تثبيط كل هذه التأثيرات السلبية للشدِّ الملحى (Avestan وآخرون ٢٠٢١).

السيلينيم

أدت إضافة السيلينيم بتركيز ١ أو ٢ مللى مول لمزرعة فراولة فى شدِّ ملحى قدره ٢٠ أو ٤٠ مللى مول كلوريد صوديوم إلى التغلب على الآثار الضارة للملوحة على نمو

النباتات؛ وهو ما كان مرده إلى تحسين نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم، وخفض محتوى الصوديوم والتسريب الأيونى بأنسجة الأوراق (Tabatabaei ٢٠١٦).

ويُعد الكيل متحملاً نسبيًّا للملوحة مقارنة بغيره من الخضر؛ فلم يتأثر محصوله عندما كانت ملوحة مياه الرى ٣ ديسى سيمنز/م، لكن المحصول بدأ فى الانخفاض عند مستوى ملوحة بين ٣، و٦ ديسى سيمنز/م، وكان الانخفاض ٥٠٪ عند مستوى ملوحة ٦ ديسى سيمنز/م. ولقد أدت إضافة السيلينيم إلى ماء الرى إلى زيادة المحصول فى كل مستويات الملوحة لكنها لم تزد من تحمل الملوحة؛ فكانت إضافة السيلينيم بمعدل ٠,٢٥ مجم/كجم من التربة (حيث كان تركيز السيلينيم بالأوراق ١ مجم/كجم).. كانت كافية لزيادة المحصول بنسبة ١١٪ مقارنة بالكنترول (Kucukyumuk & Suarez ٢٠٢١).

اللانثيم lanthium

أدت معاملة بادرات الطماطم بكلوريد اللانثاثيم $LaCl_3$ إلى زيادة النشاط المضاد للأكسدة فى البلاستيدات الخضراء من خلال دورة حامض الأسكوربك — الجلوتاثيون AsA-GSH، وهى التى حسنت تحمل الملوحة فى البادرات (Huang & Shan ٢٠١٨).

المعاملة بالأحماض العضوية

حامض السلسيلك

البامية

ازداد نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة جوهريًّا فى البامية بتعريضها لتركيزات متزايدة من الملوحة من ٥٠ إلى ١٠٠ وإلى ١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم، وخاصة فى التركيزات العالية (١٠٠، و١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم). هذا.. إلاّ إن نشاط الكاتاليز ازداد أكثر فى وجود حامض السلسيلك بتركيز ١٠^-٦ مللى مول أو إندول حامض الخليك بتركيز ٠,٤ مللى مول، بينما كان نشاط الإنزيمين جلوتاثيون بيروكسيديز والسوبر أوكسيديز ضعيفًا فى معاملتى حامض السلسيلك وإندول حامض الخليك (Esam وآخرون ٢٠١٧).

الخرشوف

وُجد أن رش النمو الخضرى للخرشوف بحامض السلسيلك بتركيز ١ مللى مول أدت إلى زيادة إنتاج الخرشوف من البرولين فى مختلف تركيزات الملوحة (كنترول، و٨، و١٤ ديسى سيمنز/م)، والحد من أضرار الملوحة. وجدير بالذكر أن زيادة معاملتى الملوحة وحامض السلسيلك خفضت من المحتوى الفينولى الكلى. وأحدثت معاملة حامض السلسيلك خفضًا جوهريًّا فى التسرب الأيونى — الذى حدث بفعل زيادة الملوحة — وذلك مقارنة بالكنترول (Daghaghian وآخرون ٢٠١٧).

الخيار

وُجد أن كلاً من كلوريد الصوديوم بتركيز ٥٠ مللى مول، وحامض السلسيلك بتركيز ٠,٣ مللى مول — منفردين — خفضًا بشدة معدل النمو النسبى للخيار ودلائل البناء الضوئى بالأوراق، وكذلك الطول الكلى للجذور ومساحتها السطحية وعدد الجذور الأولية والثانوية وطولها الكلى. هذا إلاّ إن المعاملة بحامض السلسيلك — فى ظروف شدِّ الملوحة ساعدت فى التغلب على شد الملوحة بتحفيز البناء الضوئى بالأوراق، والنمو النباتى، ودلائل النمو الجذرى فى البادرات، ومستويات تشفير الجينات المتحكمة فى دلائل النمو الجذرى فى النباتات المعرضة لشدِّ الملوحة (Miao وآخرون ٢٠٢٠).

الفول الرومى

أحدث شد الملوحة تأثيرات سلبية على نباتات الفول الرومى وعلى السمات الفسيولوجية. وكاستجابة لشد الملوحة تحسَّنت بالنبات الحالة المائية — بتحفيزها لعدة آليات ترتبط بالحالة المائية — وتحفز النشاط الإنزيمى المضاد للأكسدة. ولقد تحسَّن تحمل النباتات لشدِّ الملوحة لدى معاملتها بحامض السلسيلك؛ حيث سمحت المعاملة بالمحافظة على الأغشية الخلوية وعلى نشاط البناء الضوئى واستعادة التوازن الأيونى والحد من أضرار الأكسدة. وتبين من الدراسة التى أُجريت على صنفين من الفول الرومى أحدهما (وهو Aguadulce) أكثر تحملاً للملوحة عن الآخر (وهو Histal).. تبين أن

تأثيرات المعاملة بحامض السلسيلك كانت كمية وليست نوعية. ولقد تباينت التأثيرات المفيدة للمعاملة بحامض السلسيلك حسب التركيز المعامل به، والصفة المدروسة، والصنف؛ حيث كانت استجابة Aguadulce أفضل لدى المعاملة بتركيز ٠,٥ مللى مول سلسيلك أشد، بينما كانت استجابة الصنف Histal أفضل لدى المعاملة بتركيز ١ مللى مول من الحامض. وبذا.. فإنه قد يمكن التوسع فى زراعة الفول الرومى — أو الفول عمومًا — فى الأراضى الهامشية لملوحتها مع معاملة النباتات بحامض السلسيلك (Souana وآخرون ٢٠٢٠).

السبانخ

أدى تعريض السبانخ لشدٍ ملحى بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون كلوريد صوديوم إلى توليد فوق أكسيد الأيدروجين وتراكم الـ MDA، وإحداث عدم توازن أيونى، وإلى زيادة التسرب الأيونى، ونقص الكتلة البيولوجية والمحصول، وكانت تلك التأثيرات أعلى عما كان عليه الحال فى شد ملحى ٥٠ جزء فى المليون. هذا.. إلاّ إن المعاملة الخارجية للنباتات بكلٍ من حامض السلسيلك والـ PGPB (وهى: *Stenotrophomonas* sp.) أدت إلى تحسين النمو النباتى والمحصول، والمحتوى المائى النسبى RWC، وإلى تراكم المركبات الأسموزية، وزيادة مضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية فى كلٍ من مستويى الملوحة ٥٠، و١٠٠ جزء فى المليون من كلوريد الصوديوم (Nigam وآخرون ٢٠٢٢).

حامض الأسيتيك

أحدث شد الملوحة (٤٠ مللى مول كلوريد صوديوم) فى الفراولة خفضًا كبيرًا فى كل من الوزن الجاف للنمو الخضرى (حوالى ٨٠٪)، والمساحة الورقية (حوالى ٥٩٪)، ومحصول الثمار. وفى وجود شد الملوحة أمكن التغلب على التأثير السلبى للملوحة — إلى حدٍ كبير — بالمعاملة بحامض الأسيتيك — فى المحلول المغذى — بتركيز ١ مللى مول (Mirfattahi & Eshghi ٢٠٢٠).

المعاملة بمركبات عضوية متنوعة وهرمونات

الهرمون الطبيعى ALA

يُحفِّز الهرمون الطبيعى 5-aminolevulinic acid (اختصارًا: ALA) النمو النباتى. ولقد وُجد أن نمو بادرات الخيار يُثبَّط جوهريًّا بشدِّ الملوحة (٥٠ مللى مول/لتر كلوريد صوديوم)، وتسببت الملوحة فى تراكم فوق أكسيد الأيدروجين والـ malonaldehyde والـ dehydroascorbic acid، والجلوتاثيون المؤكسَد بالأوراق. هذا.. إلاّ إن المعاملة بالـ ALA بتركيز ٢٥ مجم/لتر عكست التأثير السلبى لكلوريد الصوديوم على نمو بادرات الخيار بزيادة الكتلة البيولوجية للنمو الخضرى والجذور. كذلك أدت المعاملة بالـ ALA إلى زيادة محتوى حامض الأسكوربك والجلوتاثيون المؤكسَد فى ظروف الملوحة المعتدلة. كذلك تحسَّنت نسب مضادات الأكسدة المختزَلَة إلى المؤكسَدة – مثل: حامض الأسكوربك إلى ديهيدروكسى حامض الأسكوربك، والـ GSH – فى البادرات فى ظروف شدِّ الملوحة. وأيضًا حسَّنت المعاملة بالـ ALA من نشاط الإنزيمات الداخلة فى دورة AsA/GSH، والتى كان منها: أسكوربك آسد أوكسيديز، واسكوربيت بيروكسيديز، و monodehydroascorbic acid reductase، و dehydroascorbic acid reductase، وجلوتاثيون ردكتيز (Wu وآخرون ٢٠١٩).

الأوكسين إندول حامض الخليك

أدت معاملة الملوحة (٨٠ مللى مول كلوريد صوديوم) للباذنجان إلى التأثير على الدلائل الفسيولوجية والكيميائية الحيوية، وتثبيط لمعدل النمو، وخفض للمحصول، بينما أدى الرش الورقى بالأوكسين indole-3-acetic acid (اختصارًا: IAA) بتركيز ٢ مللى مول إلى التغلب على تلك التأثيرات. ومع زيادة محتوى الأوراق من البرولين والـ glycine betaine، وزيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة تحت ظروف الشدِّ الملحى، فإن معاملة الـ IAA أعادت تلك الدلائل إلى وضعها الطبيعى (Shahzad وآخرون ٢٠٢٢).

المثيل جاسمونيت MeJa

دُرس تأثير معاملة البروكولى بالمثيل جاسمونيت methyl jasmonate فى وجود أو عدم وجود شدِّ الملوحة. ولقد وُجد إن جذور نباتات البروكولى تفرز جلوكوسينولات وأيزوثيوسيانينات، وأن الرش الورقة بالمثيل جاسمونيت له تأثير جهازى إيجابى؛ حيث حفَّز تمثيل وإفراز الجذور لمركبات الأيض الثانوية. هذا.. إلاّ إن تلك التأثيرات قللت من النمو النباتى فى ظروف شدِّ الملوحة. ولقد أظهرت الجلوكوسينولات والأيزوسيانينات المفرزة من الجذور تأثيرًا قويًّا على مسببات الأمراض *Fusarium oxysporum*، *Pseudomonas syringae*، و *Sphinogomonas suberifaciens* (Rios وآخرون ٢٠٢١).

البراسينوستيرويدات

أدى شد ملحى قدره ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم إلى إحداث خفض فى وزن نمو نباتات الخس، إلاّ إن المعاملة بالنظير البراسّينوستيرويدى brassinosteroid analogue — كود D1-31 — بتركيز ١ ميكرومول أدى إلى التغلب على تلك التأثيرات السلبية. وبينما ازداد إطلاق الإثيلين بتأثير الملوحة، فإن المعاملة بـ D1-31 قللت من التأثير السلبى لذلك على النمو الخضرى والجذرى. كذلك ازداد إنتاج الـ ACC بالملوحة، وقللت المعاملة بالـ D1-31 منه، وانخفض تركيز البوترسين putrescine بالملوحة وأدت المعاملة إلى التغلب على هذا التأثير فى النمو الخضرى فقط، وليس فى الجذور. وبينما أدت المعاملة بالملوحة إلى زيادة محتوى الاسبرميدين spermidine والاسبرمين spermine فى الجذر، فإن المعاملة بالـ D1-31 عكست هذا التأثير (Serna وآخرون ٢٠١٥).

وأدت معاملة البسلة بالمركب 24-Epibrassinolide إلى زيادة تحمل النباتات للملوحة فى صورة تحسن فى كلٍ من النمو والعلاقات المائية والمركبات الأسموزية osmolytes وتراكم الأيونات (Shahid وآخرون ٢٠١٥).

النيتروبروسيد nitroprusside

تؤدى معاملة الطماطم بالـ sodium nitroprusside (وهو منتج للـ NO) إلى حماية النباتات من أضرار الشدِّ البيئى. وقد وُجد أن تلك المعاملة تحت ظروف الملوحة تحمى النباتات من شدِّ الملوحة بزيادة إنتاج النباتات داخليًّا من الـ SO بالأوراق، وبمنع تثبيط الشدِّ الملحى للبناء الضوئى، وبالتغلب على أضرار الملوحة للثغور، مع الحماية من الضرر للـ photospystem II وزيادة كفاءته، وبزيادة نشاط الجينات التى تشفر لإنزيمات دورة كالفن (Li وآخرون ٢٠٢٢).

نظائر الاسترياجولاكتونات strigolactones

من المعروف أن الـ strigolactones (اختصارًا: SLs) تلعب دورًا حاسمًا فى نمو وتطور النباتات، وأثناء استجابتها لعديد من عوامل الشد الحيوى والبيئى. وقد وُجد أن معاملة نباتات الخيار بالـ GR24 — وهو نظير للـ SLs — قبل تعريضها لشدٍّ ملحىٍّ .. أدى إلى زيادة المحتوى الكلوروفيلى، وتوصيل الثغور، مع زيادة فى كفاءة البناء الضوئى، والحد من الـ photodamage، وتحفيز فى دورة الـ ascorbate-glutathione، ومنع الزيادة فى العناصر المحبة للأكسدة؛ وبذا .. أدت المعاملة إلى الحدِّ من الشدِّ التأكسدى الذى يحدث جراء التعرض للملوحة (Zhang وآخرون ٢٠٢٢).

الميلاتونين

يُعد الميلاتونين melatonin (وهو: N-acetyl-5-methoxytryptamine) من المركبات الهامة فى النباتات التى تُنظم النمو والتطور، كما يستجيب للشدِّ غير البيولوجى. ولقد وُجد أن المعاملة بالميلاتونين فى ظروف شدِّ الملوحة يمكن أن يُحسِّن حيوية الخلايا، ويحمى البناء الضوئى، ويزيد من نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، ويخفض محتوى الـ malondialdehyde، مقارنة بما يحدث فى حالة شدِّ الملوحة منفردًا. وقد أحدثت المعاملة بالميلاتونين زيادة جوهرية فى تعبير الجين المضاد للأكسدة nicotinamide adenine dinucleotide phosphate oxidase، وجينات الـ

فى salt overly senseitive ،mitogen activated protein kinase وجينات الـ ظروف شدِّ الملوحة (Zhang وآخرون ٢٠٢٠).

وقد تحسَّن إنبات بذور الكنتالوب فى ظروف شدِّ الملوحة بالمعاملة بالميلاتونين بتركيز ١٠ أو ٥٠ ميكرومول/لتر. كذلك أدت معاملة البذور ورى النباتات بالميلاتونين بتركيز ٥٠ ميكرومول/لتر إلى تحسين مؤشرات النمو، وأظهرت النباتات المعاملة محتوى أعلى من الكلوروفيل ومؤشرات بيوكيميائية أفضل عما حدث فى النباتات التى لم تُعامل (Castanares & Alberto Bouzo ٢٠١٩).

وأدت معاملة بادرات الطماطم بالميلاتونين بتركيز ١٠٠ ميكرومول لمدة ثلاثة أيام إلى تحسن واضح فى بنية الجذور، وفى صبغات البناء الضوئى، وفى الاستفادة من نواتج البناء الضوئى، وتحسين حالة النمو النباتى تحت ظروف الملوحة (١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم) بعد المعاملة. وأوقفت المعاملة انتقال الصوديوم من الجذور إلى النمو الخضرى؛ مما قلل تركيزه فى الأوراق والسيقان. كذلك فإن معاملة الميلاتونين رفعت من محتوى البوتاسيوم. وأدت معاملة الميلاتونين لمدة ثلاثة أيام قبل التعريض للملوحة لمدة أسبوع إلى خفض الشد التأكسدى بكفاءة، وذلك بالحد من تراكم السوبر أوكسيد، وفوق أكسيد الأيدروجين، وخفض محتوى الـ MDA والتسرب الأيونى، وترافق ذلك بزيادة فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: SOD، و CAT، و GR، و APX، ومضادات الأكسدة غير الإنزيمية: AsA، و GSH (Altaf وآخرون ٢٠٢١).

كذلك أفادت معاملة بادرات الطماطم بأى من الميلاتونين أو حامض الأبسيسك منفردين أو مجتمعين فى تحسين تحمل النباتات لشد الملوحة بكفاءة، وذلك بتحفيز النشاط المضاد للأكسدة وخفض الـ ROS والـ MDA، إلاّ إن آليات التحمل كانت مختلفة. وكانت المعاملة المزدوجة بالميلاتونين وحامض الأبسيسك معًا أكثر كفاءة فى تحمل النباتات لشدِّ الملوحة عن المعاملة بأى منهما منفردين. ولقد أفادت المعاملة المزدوجة أساسًا فى تنظيم أيض الهرمونات وفى تعبير الجينات المنظمة لتحمل شد الملوحة لأجل تحسين نمو نباتات الطماطم فى ظروف شد الملوحة (Hu وآخرون ٢٠٢١).

الأوميبرازول

إن الإوميبرازول omeprazole عبارة عن benzimidazole مثبط لعمل مضخات البروتون proton الحيوانى. ولقد وُجد أن إضافة المركب لبيئة زراعة الخس (من صنف خس الرؤوس ذات المظهر الدهنى: Trocadero) بتركيز من ١٠ إلى ٢٠٠ ميكرومول — فى غياب شدِّ الملوحة — أدى إلى زيادة الكتلة البيولوجية للجذور، وحسَّن امتصاص العناصر والماء وكفاءة استعمال الجذور. أما فى ظروف الملوحة (١ أو ٣٠ مللى مول من كلوريد الصوديوم)، فإن معاملة الـ omeprazole خفضت من التأثير السلبى لشدِّ الملوحة على كل من الكتلة البيولوجية الرطبة والجافة، وازداد هذا الخفض بزيادة تركيز معاملة الـ omeprazole من ١٠ إلى ٢٠٠ ميكرومول. ولم يكن للـ omeprazole دور مباشر فى التوازن الأيونى أو فى نسبة أيونى البوتاسيوم إلى الصوديوم تحت ظروف الملوحة، إلاّ إنه خفض من تركيز أيون الصوديوم فى الأوراق وأيون الكلور فى الأوراق والجذور، مع زيادته لتركيز النترات فى كليهما (Carillo وآخرون ٢٠١٩).

الفصل السادس

التأثيرات الفسيولوجية لشدِّ الجفاف

الطماطم

أدى خفض معدل رى الطماطم والفلفل إلى رفع حرارة النمو الخضرى، وأدى الرش بالكاولين kaolin بتركيز ٥٪ إلى معادلة تأثير خفض الرى، وإن كان للرش بالكاولين تأثيرًا مزدوجًا (Cosic وآخرون ٢٠١٨).

ولقد كان للشدِّ الرطوبى تأثير سلبى على دلائل البناء الضوئى وخصائص الثغور. وازداد نشاط الـ superoxide dismutase، والـ perioxidase، و الـ catalase باستمرار فى كلٍّ من أوراق وجذور الطماطم فى ظروف الشدِّ الرطوبى فى أى من مراحل النمو المختلفة، ثم عاد النشاط إلى طبيعته بمجرد انتهاء الشدِّ الرطوبى. ولقد تبين ان الشدِّ الرطوبى المعتدل لم يكن له تأثير جوهرى — مقارنة بالرى الكامل — على الدلائل الفسيولوجية خلال مراحل النمو غير الحرجة (مرحلة نمو البادرات ومرحلة ازدياد الثمار فى الحجم) (Hao وآخرون ٢٠١٩).

وأحدث تعريض نباتات الطماطم لشدِّ الجفاف نقصًا جوهريًّا فى صافى معدل البناء الضوئى، وكان مرد ذلك إلى تقليل الجهاز الثغرى لتبادل الغازات فى ظروف الجفاف (Liang وآخرون ٢٠٢٠).

وأدى تعريض نباتات الطماطم لشدٍّ جفافى إلى تقليص مساحة الأوعية الخشبية بمقدار ٥٧٪، ونقص قطر أوعية الخشب بمقدار ٢٧٪. وتحت ظروف الشدِّ الجفافى المتواصل انخفضت قدرة الجذور على التوصيل المائى، وأصبحت التغيرات التشريحية دائمة. ويمكن استخدام تلك الصفات الجذرية عند تقييم الجيرمبلازم لتحمل ظروف شدِّ الجفاف (Hernandez-Espinos & Barrios-Masias ٢٠٢٠).

الفلفل

لم ينخفض محصول أصناف الفلفل الشديد الحرافة فى ظروف شدِّ الجفاف، بينما أثَّرت تلك الظروف سلبًا على محصول الأصناف القليلة الحرافة، وتباينت الأصناف المتوسطة الحرافة فى هذا الشأن.

وقد ازداد مستوى الكابسايسينويدات فى كل الأصناف التى دُرست عندما عُرِّضت لشد جفافى باستثناء تلك العالية جدًّا — ابتداءً — فى محتواها من الكابسايسينويدات (Phimchan وآخرون ٢٠١٢).

ولقد أدى تعريض نباتات الفلفل من طراز الهابانيرو Habanero (وهو يتبع النوع *Capsicum chinense*) لشدٍّ رطوبى إلى زيادة تركيز الكابسايسين capsaicin، والـ dihydrocapsaicin بالثمار (Ruiz-Lau وآخرون ٢٠١١).

هذا.. وتستجيب نباتات الفلفل لشدِّ الجفاف بإنتاج المواد الذائبة المتوافقة compatible solutes وتراكمها فيها، وهى التى تُعرف باسم الحاميات الأسموزية osmoprotectants، وتلعب دورًا مفتاحيًّا فى التأقلم الأسموزى. ويمكن أن يؤدى فقد الماء إلى زيادة تركيز المركبات الذائبة المتوافقة التى تنظم الأيض النباتى. وتلك المركبات يمكن تمثيلها كسكريات (سكروز، وفراكتوز، وتريهالوز)، وأحماض أمينية (برولين)، وأمينات أمفوتيرية رباعية amphoteric quaternary amine (جليسين بيتين glycine betaine)، وجزيئات أخرى ذات وزن جزيئى منخفض. وأكثر تلك المركبات تواجدًا البرولين والجليسين بيتين. ويُعد البرولين أحد الأحماض الأمينية، وهو يمكن أن يتراكم بتركيزات منخفضة فى الظروف المثلى، لكن ظروف الشدِّ تُسهم فى زيادة تركيزه. ولقد دُرس التواجد الطبيعى لكل من البرولين والجليسين بيتين فى نوعين من الفلفل، هما: *Capsicum chinense* (صنفا Genesis، و Rex)، و *Capsicum annuum* (صنف Padron) فى الظروف الطبيعية وظروف شدِّ الجفاف. وتبين أن البرولين يُسهم بصورة أفضل من الجليسين بيتين فى تحمل شد الجفاف فى الجنس *Capsicum*، وذلك بعد

١٤ يومًا من التعرض لمعاملة الشدِّ، وأن الجليسين بيتين لم يلعب دورًا هامًّا فى التأقلم الأسموزى (Escalate-Magaña وآخرون ٢٠١٩).

ولقد أثر الشد الجفافى (٥٠٪ من السعة الحقلية) خلال مرحلة النمو الخضرى للفلفل المكسيكى *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* سلبًا على النمو، وتراكم الكتلة البيولوجية، والمساحة الورقية، وكذلك على طول فترة مراحل النمو. كذلك أدت تلك المعاملة خلال مرحلة النمو الخضرى إلى خفض عدد الثمار ووزنها/نبات بمقدار ٦٠,٩٪، و ٥٩,٤٪ – على التوالى – مقارنة بمعاملة الكنترول. وأدى الشدِّ الجفافى فى مرحلتى النمو الخضرى والثمرى إلى زيادة محتوى البرولين فى الأوراق بنسبة ٩٣,٩٪ – ١٠٠٪. هذا.. بينما لم يتأثر تركيز صبغات البناء الضوئى، والمركبات الفينولية، والفلافونويدات الكلية بالأوراق، أو محتوى الكابسايسين والداى هيدروكابسايسين فى الثمار بمعاملة الشدِّ الرطوبى خلال أى من مرحلتى النمو الخضرى أو الثمرى. وبذا.. فإن الفلفل يتأثر بالشدِّ الرطوبى خلال مرحلة النمو الخضرى بدرجة أكبر من تأثره بها خلال مرحلة النمو الثمرى (Ricardez-Miranda وآخرون ٢٠٢١).

الفراولة

أدى الشد الرطوبى فى الفراولة إلى خفض وزن الثمرة بنحو ٥٩,٧٪ ومحصول الثمار من وحدة المساحة بنحو ٦٣,٦٪، مقارنة بالوضع فى معاملة الكنترول. ولقد أحدث الشدِّ الرطوبى زيادات فى كل من المحتوى الفينولى الكلى والمحتوى الأنثوسيانينى الكلى، ومحتوى السكر والنشاط المضاد للأكسدة، كما أظهر الصنفان Albion، و Rabygem تحملاً للشدِّ الرطوبى (Adak وآخرون ٢٠١٨).

ولقد أحدث الشد الرطوبى المعتدل (‎-70 kPa‏) للفراولة زيادة جوهرية فى محتوى الثمار من السكريات (من ١,١ إلى ١,٣ مثل)، والأحماض العضوية (من ١,١ إلى ١,٣ مثل)، والنسبة بينهما (من ١,١ إلى ١,٢ مثل)، وكذلك محتوى أهم الفينولات التى أمكن التعرف عليها (Weber وآخرون ٢٠١٧).

البطاطا

أحدث تعريض نباتات البطاطا لشدٍّ رطوبى لمدة ٥ أو ١٠ أيام بعد شتل الشتلات خفضًا فى عدد الجذور الخازنة بنسبة ٤٢٪، و٦٦٪ – على التوالى — تحت ظروف الزراعة المحمية. وتحت ظروف الحقل أحدث الشدُّ الرطوبى خلال فترة تكوين الجذور الخازنة خفضًا قدره ٤٩٪ فى جذور الدرجة الأولى (Solis وآخرون ٢٠١٤).

هذا.. ولم يؤدى شدُّ الجفاف إلى زيادة محتوى بيريدرم الجذور الخازنة للبطاطا من حامض الكافيك caffeic acid (Harrison وآخرون ٢٠٠٦).

الثــــوم

دُرس تأثير معاملات رى وشد جفافى (رى كامل، وشد جفافى قبل أو بعد مرحلة التبصيل، وطوال مراحل النمو) على نمو ومحصول أصناف محدودة الانتشار فى الزراعة المحلية (Fino de Chinchon، و Cbt 02710، و Port 0799)، وأخرى واسعة الانتشار (Gardacho، و Purple from Las Pedroneras). ووُجد أن الصنفين واسعا الانتشار أظهرا أعلى قدر من المرونة plasticity فى تحمل الجفاف، مع كتلة بيولوجية أعلى فى ظروف الرى الكامل، وانخفاض واضح فى معظم ظروف شد الجفاف. وبالمقارنة .. كان محصول الأصناف المحلية أقل، ولكن مع تأثر أقل بمعاملات شد الجفاف، ومع ثبات المحصول فى مختلف ظروف توفر الرطوبة. ولقد استمرت الاختلافات بين الأصناف فى المحصول تحت ظروف توفر الرطوبة الأرضية وظروف الشد (Sánchez- Virosta وآخرون ٢٠٢١).

الفجــل

يتميز الفجل بقدرته على التأقلم على نقص الرطوبة الأرضية (بالرى عند انخفاض الرطوبة إلى ٥٠٪، أو ٣٠٪ من الرطوبة عند السعة الحقلية) بزيادة نسبة كتلة الأوراق إلى الجذور (حيث يقل توجيه المادة الجافة نحو الجذور)، مع زيادة فى دكنة اللون الأخضر بالأوراق، وزيادة فى سماكة الأوراق مع الحد من نموها. هذا.. ولم يؤثر نقص

الرطوبة الأرضية على المحتوى الأنثوسيانينى أو على الفينولات الحرة الكلية (Stagnari وآخرون ٢٠١٧).

الخــــس

أدى تعريض نباتات الخس لشدٍّ رطوبىٍّ إلى زيادة محتواها من مضادات الأكسدة. وعلى الرغم من أن تأثير الشدِّ كان أقوى فى بداية حياة النبات عما كان عليه التأثير عند الحصاد، فقد كان التأثير جوهريًّا حتى عند الحصاد كذلك. هذا.. ولم يترتب على تعريض النباتات لشدٍّ رطوبى مرة واحدة عند الحصاد أى تأثير سلبى على نموها؛ بما يعنى إمكان تحسين جودة الخس بتلك المعاملة — فيما يتعلق بزيادة محتواه من مضادات الأكسدة — دون أن يكون لها أى تأثيرات سلبية على النمو أو المحصول (Oh وآخرون ٢٠١٠).

الخرشوف

قد يُحدِث الشدِّ الرطوبى فى الخرشوف عيبًا فسيولوجيًّا يسمى القمة السوداء black tip. لا يصيب هذا العيب الفسيولوجى سوى القنابات الخارجية المكشوفة من النورات الإبطية الصغيرة. تُصبح قمة القنابات المتأثرة بلون داكن إلى أسود، وجافة، وجلدية. ولا تتأثر الخصائص الأكلية للجزء المأكول من النورات المصابة بهذا العيب الفسيولوجى، ولكنها تكون غير صالحة للتسويق. وقد تُصبح الأجزاء المتأثرة مدخلاً للكائنات المسببة للعفن. ويزداد ظهور هذا العيب الفسيولوجى خلال الأيام الدافئة المشمسة، خاصة عند هبوب رياح حارة تضع النباتات تحت حالة من الشدِّ الرطوبى. ولذا.. يتعين الاهتمام بالرى لتجنب الإصابة بهذا العيب الفسيولوجى (Oregon State University ٢٠٠٢).

الرجلة

للرجلة قدرة عالية على تحمل شدِّ الجفاف، حيث تنشط فى ظروف شد الجفاف عديدًا من الآليات الفسيولوجية التى تسمح بالعودة بكفاءة للحالة الطبيعية عند انتهاء

حالة الشد. ففى ظروف شدِّ الجفاف لمدة ١٠ أيام يزداد جوهريًّا محتوى الـ malondialdehyde، والبرولين، والتسرب الأيونى، والعناصر المحبة للأكسدة، ونشاط إنزيمات السوبر أوكسيد ديسيموتيز، والبولى فينول أوكسيديز، بينما يؤدى زوال حالة شد الجفاف لمدة ١–٣ أيام إلى انخفاض كل تلك الدلائل. وبينما قلل شد الجفاف من المحتوى المائى بالأوراق ومحتوى الكلوروفيل، فإن الرى أدى إلى استعادة سريعة لمحتوى الأوراق المائى وتدريجى لمحتواها من الكلوروفيل (Jin وآخرون ٢٠١٥).

الفصل السابع

وسائل التغلب على شدِّ الجفاف

التطعيم

الطماطم

أدى تطعيم أحد أصناف الطماطم القديمة (المتوارثة heirloom) — وهو Cherokee Purple — على الهجين النوعى Beaufort إلى زيادة المحصول عند خفض معدل الرى إلى ٥٠٪ – وكذلك إلى زيادة كفاءة استخدام المياه — عما فى نباتات Cherokee Purple غير المطعومة عند الرى بالمعدل الكامل ١٠٠٪. وأيًا كانت معاملة الرى فإن التطعيم على Beaufort أدى إلى تحسين صفات جودة الثمار. هذا.. ولم تظهر تلك التأثيرات عندما كان التطعيم على الأصل Shield (Suchoff وآخرون ٢٠١٨).

كذلك دُرس تأثير تطعيم صنف الطماطم Cherokee Purple على أصلين، هما: Beaufort، و Shield، مع خفضٍ لمعدل الرى بمنع الرى لمدة أسبوع ظهر خلاله ذبول واضح على النباتات فى منتصف النهار. ولقد أحدث التطعيم على Beaufort زيادة فى المحتوى المائى النسبى للنباتات، وفى المساحة الورقية، وتوصيل الثغور، وصافى تمثيل ثانى أكسيد الكربون. كذلك تبين زيادة الطول الكلى للجذور فى هذا الأصل، حيث وصل إلى ١١٨,٦ م مقارنة بطول ٩٤,٩ م فى الأصل Shield. وقد ازداد فى جذور الأصل Beaufort نسبة الجذور الدقيقة جدًا إلى ٧٦,٤٪، مقارنة بنسبة ٧٣,٦٧٪ فى Shield، و ٧٣,٦٧٪ فى معاملة الكنترول المطعومة على أصل من نفس صنف الطعم (Suchoff وآخرون ٢٠١٨).

الفلفل

دُرس تأثير تطعيم صنف الفلفل Herminio على كل من الأصول التجارية Atlante، و Creonte، و Terrano فى ظروف الشدِّ الرطوبى (٥٠٪ من الرطوبة

المثلى)، ولقد أدت جميع الأصول إلى زيادة المحصول الكلى والمحصول الصالح للتسويق فى كلٍ من ظروف الشد الرطوبى والكنترول. وكان الأصل Creonte أكثر الأصول تأثيرًا فى زيادة المحصول وفى كفاءة امتصاص الماء؛ حيث كان المحصول أعلى بمقدار ٢٥٪ عن محصول الصنف Herminio، وأعلى بمقدار ١٠٪ عن المحصول عند التطعيم على الأصلين الآخرين. كذلك أظهرت النباتات التى طُعِّمت على Creonte أعلى نشاط بناء ضوئى وأعلى محتوى مائى ورقى وكانت الأكثر ثباتًا فى المساحة الورقية والكتلة الحيوية فى ظروف الشدِّ الرطوبى. وقد تبين أن النباتات المطعومة على Atlante كانت قوية النمو الخضرى، بينما كانت تلك المطعومة على Terrano أكثر تقزمًا ومنتجة؛ فكانت مندمجة دونما تأثير سلبى على صفات جودة الثمار (Lopez-Marin وآخرين ٢٠١٧).

المعاملة بالإضافات العضوية للتربة

الكمبوست

أدى تعريض نباتات الفلفل بداية من مرحلة الإزهار لشدٍّ جفافى معتدل، مع زراعتها فى مخلوط من ٣٥٪ كمبوست جزر (من ناتج بيوت التعبئة) غنى بالبوتاسيوم.. أدى ذلك إلى زيادة محتوى الثمار من العناصر — وخاصة البوتاسيوم — والفينولات، مع انخفاض فى مستوى البيتاكاروتين والليكوبين (Fiasconaro وآخرون ٢٠١٩).

البيوشار

تبين لدى مراجعة ١٣٤ دراسة عُومِلت فيها الخضر برى يقل عن حاجة النتح والتبخر حدوث انخفاض جوهرى فى المحصول فى ٥٢٪ من الحالات، بينما لم يكن الشد الرطوبى المعتدل مؤثرًا فى ٤٤٪ من الحالات. وقد وُجد أن إضافة البيوشار — وهو مُنتج غنى بالكربون ينتج عن التحلل الحرارى pyrolysis للمادة العضوية — تحت ظروف الشد الرطوبى – يعوض النقص الحادث فى محصول الخضر، ويُحسِّن من كفاءة استخدام الماء (Singh وآخرون ٢٠١٩).

وفى دراسة على الطماطم.. حسَّنت إضافة البيوشار بمعدل ٢٥، و٥٠ طن للكهتار (١٠,٥، و١١ طن للفدان) من احتفاظ التربة بالماء حينما خُفِّض معدل الرى إلى ٥٠٪، و٧٥٪ من النتح التبخرى evapotranspiration، ومن ثم تحسَّن النمو فى تلك الظروف. وقد ساعدت المعاملة بالبيوشار بمعدل الطن للفدان فى خفض استخدام المياه بنسبة ٥٠٪ دون التأثير على المحصول. كذلك أحدثت المعاملة بالبيوشار زيادة جوهرية فى نسبة المادة العضوية والنيتروجين الكلى بالتربة، بينما أدى خفض معدل الرى إلى تحسين جودة الثمار وكفاءة استخدام المياه (Agbna وآخرون ٢٠١٧).

المعاملات الحيوية بالكائنات الدقيقة

البكتيريا المحفزة للنمو

أدى شد الجفاف (حتى ٥٠٪ من الرطوبة عند السعة الحقلية) إلى خفض محصول الخس، وإلى إحداث خفض فى كلٍّ من المحتوى المائى النسبى بالأوراق، وتوصيل الثغور، ومحتوى العناصر المغذية، لكن مع زيادة فى كلٍّ من التسرب الأيونى وأكسدة الدهون (MDA). هذا إلا إن التلقيح بالبكتيريا المحفزة للنمو النباتى *Bacillus megaterium* (السلالة: TV 6D)، أو *Bacillus subtilis* (السلالة: TV 12H) ساعد فى التغلب على التأثيرات السلبية لشدِّ الرطوبة على النمو النباتى والمحصول (Sahin وآخرون ٢٠١٥).

وأسهمت معاملة الفلفل بالسلالة KT40 من البكتيريا *Bacillus butanolivorans* فى الحد من أضرار شدِّ الجفاف من خلال تعديلها للمركبات المضادة للأكسدة والفينولية بالنبات. لقد أدت المعاملة تحت ظروف شد الجفاف إلى إحداث خفض جوهرى فى أكسدة الدهون، وتنشيط عالٍ فى نشاط البيروكسيديز والجلوتاثيون بيروكسيديز، بينما انخفض نشاط الكاتاليز والسوبرأوكسيد ديسميوتيز مقارنة بالكنترول. وأطلقت المعاملة بقوة تعبير عدة جينات ذات علاقة بتحمل شدِّ الجفاف تحت ظروف الشدِّ. وتحت ظروف الزراعة المحمية حُوفظ جيدًا على توصيل الثغور تحت ظروف الشدِّ. ولقد صاحبت المعاملة الحيوية

تغيرات بالزيادة والنقصان فى محتوى الثمار من البولى فينولات والفلافونويدات؛ وخفض فى محتوى الكابسايسين، والداى هيدروكابسايسين، والنارنجينين naringenin؛ وزيادة فى الـ luteolin والـ catechin (Kim وآخرون ٢٠٢٢).

الاستربتوميسيس

أدت المعاملة بسلالتين من الاستربتوميسيس *Streptomyces* (هما: IT25 القادرة على إنتاج ACCD، و C-2012 المتحملة لـ ١٣٪ كلوريد صوديوم) فى الظروف الطبيعية إلى زيادة محصول الطماطم بمقدار ٣٥٪، و ٣٢٪، على التوالى. وبينما أنقصت معاملة شدِّ الجفاف وزن الثمار بمقدار ٦٠٪، فإن ذلك التأثير السلبى أمكن التغلب عليه جوهريًّا بالمعاملة بالاستربتوميسيس. وتحت ظروف شدِّ الجفاف زادت المعاملة بأى من عزلتى الاستربتوميسيس من المحتوى المائى النسبى RWC للأوراق، ومحتوى الأوراق من البرولين والـ MDA والـ H_2O_2 والسكريات الكلية ونشاط الـ APX، وإلى انخفاض نشاط الـ CAT والـ GPX (Abbasi وآخرون ٢٠٢٠).

الفطر الداخلى التطفل *Piriformospora indica*

ينتمى الفطر الداخلى التطفل *Piriformospora indica* لرتبة Sebacinales، وهو يمكن أن يستعمر — داخليًّا — جذور مدى واسع من النباتات؛ حيث يتعايش معها تعاونيًّا ويُحسِّن من نموها. وفى الطماطم.. وُجد أن الشدِّ الرطوبى يؤدى إلى خفض الوزنين الرطب والجاف للنمو الخضرى، والمحتوى النسبى، ومستوى البرولين. وكان الصنف المتحمل للجفاف Caspian أعلى فى وزن النمو الخضرى والمحتوى المائى النسبى والبرولين مقارنة بالصنف الحساس Superluna. وأدى استعمار الفطر *P. indica* للجذور إلى زيادة تلك القياسات فى كلا الصنفين تحت ظروف كلٍّ من الرى الطبيعى وظروف شدِّ الجفاف، وجعل النباتات أكثر تحملاً للجفاف. وكان مرد ذلك إلى إن الفطر عدَّل التعبير الجينى فى النبات العائل لخفض التأثير السلبى الذى يُحدثه شدٌّ الجفاف (Azizi وآخرون ٢٠٢١).

الترايكودرما

أدى تعريض نباتات الطماطم لشدٍّ جفافى إلى خفض المحتوى المائى النسبى بنسبة ٢٥٪ سواء أكانت النباتات قد لُقِّحت بفطر الترايكودرما *Trichoderma brevicompactum*، أم لم يُلقح، وأدى التلقيح بالترايكودرما إلى زيادة المحتوى المائى النسبى بنسبة ١٧٪ سواء أكانت النباتات قد عُرِّضت لشدٍّ جفافى، أم لم تُعرَّض. وتحت ظروف الشدِّ الجفافى كانت النباتات التى لُقِّحت بالترايكودرما فى وضع أفضل تَمثُّل فى خفض توصيل الثغور وغلق للثغور، مع زيادة أقل فى محتوى الجذور من حامض الأبسيسك، مقارنة بما حدث فى النباتات التى عُرِّضت لشدِّ الجفاف ولم تُلقَّح بالترايكودرما. وربما كان ذلك بمثابة تكيف لظروف الجفاف أدى إلى الحدِّ من التأثير السلبى لشدِّ الجفاف على النمو النباتى (Racic وآخرون ٢٠١٨).

كما أدت المعاملة بمنشط حيوى ميكروبى يحتوى على سلالتين من الميكوريزا وعلى *Trichoderma koningii* إلى تحسين صفات جودة الخس أيًّا كانت حالة الرطوبة الأرضية: جيدة أم بشد جفافى معتدل أم شديد. فلقد أدت المعاملة إلى زيادة محتوى النباتات من الفوسفور والمغنيسيوم والحديد والمنجنيز والزنك بنسبة ٨٠,٨٪ إلى ٩٧,٤٪، ومختلف الأحماض الفينولية، مقارنة بما حدث فى النباتات التى لم تُعامل بالمنشط الحيوى. كذلك أحدثت المعاملة بالمنشط الحيوى زيادة فى المحصول وفى محتوى الكالسيوم والنحاس وحامض الأيزوكلوروجنك، لكن فقط فى ظروف الرى الجيد والشدِّ الجفافى المعتدل. ولقد تأثرت صفات الجودة بالمنشط الحيوى بدرجة أكبر من تأثرها بتيسر الماء. فلم يؤدى خفض الرطوبة الأرضية إلى شدٍّ معتدل على المحصول أو الأحماض الفينولية أو الفلافونويدات، لكنها خفَّضت محتوى النباتات من المغنيسيوم بنسبة ١٢,٤٪ والزنك بنسبة ٢٦,٨٪، وكذلك خفَّضت معدل البناء الضوئى والنتح إلى النصف. أما زيادة شدِّ الجفاف لجعله شديدًا فقد خفَّض المحصول ومحتوى حامض الأسكوربك والفينولات الكلية والكورستين. ولقد تم تمثيل الجلوكسيد luteolin كاستجابة منسقة لكل من الشدِّ الرطوبى والمنشط الحيوى؛ فازداد تركيزه فى النباتات التى عُوملت بالمنشط الحيوى (Saia وآخرون ٢٠١٩).

وأدى شد الجفاف إلى خفض محصول البطاطس وازداد النقص حتى ٥٠٪ بزيادة الشد الرطوبى، كما أدى إلى زيادة محتوى الأوراق من البرولين. وأدى التلقيح بالميكوريزا *Rhizophagus intaradices* – فى ظروف شدِّ الجفاف – إلى زيادة محصول الدرنات حتى ٣٦٪ (Rhosravifar وآخرون ٢٠٢٠).

وبينما وصل استعمار جذور البطاطا بالميكوريزا إلى نحو ٥٨٪ إلى ٦٩٪ فى صنفين من البطاطا تحت ظروف توفر الرطوبة الأرضية، فإن استعمار الجذور انخفض عن تلك الحدود فى حالة تعرض النباتات لشدٍّ جفافى. هذا.. إلا إن الميكوريزا حسَّنت من محتوى النباتات من الفوسفور، ومن محتواها من مركبات التعديل الأسموزى (البرولين الحر والسكر الذائب). كذلك ازداد جوهريًّا عدد الجذور الخازنة/نبات ووزنها الطازج فى النباتات المعاملة بالميكوريزا تحت ظروف الملوحة. ويُستفاد مما تقدم إمكان التغلب على أضرار الملوحة فى البطاطا بالمعاملة بالميكوريزا (Yooyongwech وآخرون ٢٠١٦).

وفى الشيكوريا.. تؤدى عدوى النباتات بالميكوريزا إلى تحسين نموها فى كلٍّ من ظروف الجفاف وظروف الشدِّ الرطوبى، وإن كانت نسبة الاستفادة أعلى فى ظروف شدِّ الجفاف. وفى ظروف الشدِّ الرطوبى تؤدى العدوى بالميكوريزا إلى تحمل الجفاف، وإلى زيادة النشاط المضاد للأكسدة فى النباتات، مثل زيادة نشاط السوبرأوكسيد ديسميوتيز، والبيروكسيديز، وحامض الأسكوربيك، وزيادة الجلوتاثيون، مع انخفاض فى تراكم فوق أكسيد الأيدروجين. وقد ازدادت نسبة الإنيولين inluin فى النباتات الملقحة بالميكوريزا فى ظل كل ظروف الرطوبة الأرضية (Langeroodi وآخرون ٢٠٢٠).

كما أدى خفض الرطوبة الأرضية — فى دراسة حقلية — على الشيكوريا من الرى بعد استنفاذ ٩٠٪ من الماء الميسر إلى الرى بعد استنفاذ ٦٥٪ أو ٤٠٪ من الماء الميسر — إلى خفض المحتوى المعدنى ودلائل البناء الضوئى سواء أكانت النباتات قد لُقِّحت بالميكوريزا أم لم تلقح. ولقد تميزت النباتات التى عُومِلت بالميكوريزا بتحملها لأضرار شدِّ الجفاف، بارتفاع محتواها من الإنيولين inulin، مقارنة بما حدث فى النباتات

التى لم تُعامل بالميكوريزا، وذلك فى كل مستويات الرطوبة الأرضية. وشهدت نباتات الشيكوريا التى عُومِلت بالميكوريزا فى ظروف الشدِّ الرطوبى تحسنًا فى النظام المضاد للأكسدة، مثل نشاط الـ superoxide dismutase، والـ peroxidease، وحامض الأسكوربك، والجلوتاثيون، بينما انخفض فوق أكسيد الأيدروجين وانخفضت أضرار الأكسدة (Langeroodi وآخرون ٢٠٢٠).

المعاملة بالمستخلصات الحيوية المنشطة للنمو

أدت معاملة البروكولى بأى من المعدِّلات البيولوجية biomodulators: مستخلص الخميرة، أو مستخلص أوراق المورينجا moringa، أو حامض السلسيلك، أو حامض الهيومك إلى التغلب على تأثير تأخير الرى من كل خمسة أيام إلى كل ١٠ أو ١٥ يومًا. ولقد أدى شدِّ الجفاف إلى تأخير التدهور فى صفات الجودة بعد الحصاد كفقد فى الكتلة البيولوجية أو التحلل أثناء التخزين. ولقد حافظت جميع المعدلات البيولوجية على جودة نورات البروكولى أثناء التخزين حيث قل الانخفاض فى الكتلة البيولوجية والتحلل. وبينما أدت معاملتى الشدِّ الرطوبى إلى خفض محتوى النورات من الكلوروفيل والكارتينويدات وحامض الأسكوربك والفينولات الكلية والكربوهيدرات الذاتية الكلية، فإن تلك المكونات ازدادت فى النباتات التى عُومِلت بالمعدِّلات البيولوجية. هذا.. بينما لم يتأثر محتوى الأنثوسيانيات ونشاط البيروكسيديز بمعاملات المعدِّلات البيولوجية (Sakr وآخرون ٢٠٢١).

ولم يكن لمعاملات تأخير الرى (حتى الرى عند ٦٠٪ من السعة الحقلية) وإضافات حامض الهيوميك (١٠٠ مجم/كجم تربة) أى تأثير جوهرى على محصول البصل الطازج. هذا.. إلاّ إن تأخير الرى — خاصة حتى الرى عند ٦٠٪ من السعة الحقلية) قلل النمو النباتى، بينما أدت إضافة حامض الهيوميك إلى إحداث زيادة جوهرية فى النمو والكتلة البيولوجية، ومحتوى فيتامين ج، والمعادن مثل الكالسيوم، ومحتوى الأبصال من الفلافونويدات تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية (Forotaghe وآخرون ٢٠٢٢).

المعاملة بالعناصر المغذية الضرورية وبالعناصر غير الضرورية

العناصر المغذية الضرورية

النيتروجين (سماد اليوريا)

أدى تعريض الجزر لشدٍّ جفافى (٥٠٪ سعة حقلية) إلى إحداث زيادة فى محتوى الأوراق من كلٍّ من البرولين والجليسين بيتين والفينولات الكلية، وخفض جوهرى فى كلٍّ من كلوروفيل أ ونسبة كلوروفيل أ إلى كلوروفيل ب، بينما لم يكن لشدِّ الجفاف تأثير معنوى على الوزن الجاف لكلٍّ من النمو الخضرى والجذرى، أو على محتوى حامض الأسكوربك أو الـ MDA. وتحت ظروف شدِّ الرطوبة أدى رش النباتات باليوريا بتركيز ٣٠٠ مجم/لتر إلى إحداث زيادة جوهرية فى الوزن الجاف لكلٍّ من النمو الخضرى والجذرى، وطول الجذر، وكلوروفيل ب، والكلوروفيل الكلى، والبرولين الحر بالأوراق، والجليسين بيتين، والفينولات الكلية، ونشاط الكاتاليز والبيروكسيديز، ومحتوى البرولين الذائب الكلى، ولكنه خفَّض نسبة كلوروفيل أ إلى كلوروفيل ب؛ أى إن معاملة الرش باليوريا حسَّنت من تحمل الجزر لشدِّ الجفاف (Razzaq وآخرون ٢٠١٧).

البوتاسيوم

أحدثت زراعة الكنتالوب فى ظروف شدِّ جفافى ٥٠٪، و٧٥٪ من السعة الحقلية مقارنة بالكنترول (١٠٠٪ من السعة الحقلية) خفضًا شديدًا فى محصول الثمار وإنتاجية ماء الرى بلغت ٦٨٪، و٣٢٪ – على التوالى – فى حالة معاملة الـ ٥٠٪ سعة حقلية. وعندما عُوملت البذور قبل زراعتها بنترات البوتاسيوم بتركيز ١٠٠ مللى مول فإن محصول الثمار كان أعلى بنسبة ٤٥٪، و٣٥٪ و٤٨٪ – على التوالى – عن إنتاج النباتات التى لم تُعامل بذورها عند ١٠٠٪، و٧٥٪، و٥٠٪ سعة حقلية. كذلك لوحظ اتجاه مماثل فيما يتعلق بدلائل جودة الثمار وإنتاجية ماء الرى. وبينما لم تظهر اختلافات فى محصول الثمار وكفاءة النباتات فى مياه الرى، بين معاملات البذور

بتركيز ٥٠، و١٠٠ مللى مول نترات بوتاسيوم عند شد ظروف رطوبة ٧٥٪، و٥٠٪، فإن معاملة البذور بتركيز ١٠٠٪ نترات بوتاسيوم أظهرت نتائج أفضل عن معاملات البذور الأخرى عندما كانت رطوبة التربة كافية أى ١٠٠٪ سعة حقلية (Alam وآخرون ٢٠٢١).

ولمزيد من التفاصيل حول التأثيرات الفسيولوجية لشدِّ الجفاف على النباتات وللرش الورقى بالبوتاسيوم، وحول تأثير الرش بالبوتاسيوم على التغلب على شدِّ الجفاف.. يُراجع Ahmad وآخرين (٢٠١٨).

النحاس

استُخدم تركيبان من الكلوروفيللين النحاسى copper chlorophyllin من أصل نباتى — مع زيت بارافينى — فى معاملة نباتات الطماطم رشًّا مع الإضافة للتربة، وذلك تحت ظروف شدِّ الجفاف، وتبين أن المعاملة حسَّنت من معدل البناء الضوئى، خاصة فى معاملة الرش الورقى. كذلك حسَّنت المعاملة من نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة بالأوراق: الكاتاليز والأسكوربيت بيروكسيديز، ومحتوى الجلوتاثيون، وكذلك حدثت زيادة فى محتوى المواد الصلبة الذائبة ومحتوى البرولين بالأوراق؛ بما يعنى زيادة التعديلات الأسموزية (Zhang وآخرون ٢٠١٩).

الزنك

أدت ظروف الجفاف (الرى بمستوى ٥٠٪ من السعة الحلقية) إلى تثبيط إنبات بذور الفول الرومى مع زيادة فى الشدِّ التأكسدى. هذا إلاّ إن نقع البذور فى محلول ٠,٠٠١ مول من الزنك لمدة ١٢ ساعة ثم تجفيفها ساعد فى التغلب على شد الجفاف بزيادة الكتلة البيولوجية (٩٩,٨٪)، والمساحة الورقية (٢٣٪)، ونشاط الإنزيم ألفاأميليز (٨٥٪)، والسكر الذائب (٥٤,٧)، وقيمة الـ SPAD (٤٨,٧٪)، وتركيز الزنك بالأوراق (٧٩,٨٪)، مع انخفاض فى الـ malondialdehyde بالأوراق (٤٢,٧٪)، وفى محتواها من النشاط المضاد للأكسدة (٣٥,٢٪) تحت ظروف شدِّ الجفاف (Farooq وآخرون ٢٠٢١).

الموليبدينم

وُجد انخفاض فى دليل مساحة الورقة، ودليل الكلوروفيل، والمحتوى المائى النسبى، ومحصول البذور الجافة فى الفاصوليا مع زيادة الشد الرطوبى، إلاّ إن الرش الورقى بالموليبدينم بمعدل ٨٠ جم/هكتار (٣٧ جم/فدان) أحدث زيادة فى كلٍّ من دليل مساحة الورقة، والمحتوى الرطوبى النسبى، ومحصول البذور الجافة، وإن تباين هذا التأثير باختلاف الأصناف وباختلاف مقدار الشد الرطوبى؛ فكان أكثر وضوحًا فى حالة الشد الرطوبى الشديد. كذلك أحدثت المعاملة بالموليبدينم زيادة فى امتصاص النيتروجين، وفى كفاءة استخدامه؛ مما تسبب فى زيادة دليل الكلوروفيل ومحصول البذور الجافة (Heshmat وآخرون ٢٠٢١).

العناصر غير الضرورية

السيليكون

وُجد أن معاملة الفراولة بسيليكات البوتاسيوم بتركيز ١٠ مللى مول/لتر حفَّزت نمو وتطور النباتات، كما كان للمعاملة تأثير مفيد فى التغلب على أضرار شدِّ الجفاف (Dehghanipoodeh وآخرون ٢٠١٨).

وأدى تعريض اللوبيا لشدِّ الجفاف إلى إحداث خفض جوهرى فى كلٍّ من الوزن الجاف للنمو الخضرى، وارتفاع النبات، والمساحة الورقية، وعدد الفروع/نبات، ووزن البذور، والمحصول البيولوجى، ووزن ١٠٠ بذرة، ومحتوى الأوراق من كلوروفيل أ، وب، والكاروتينويدات الكلية، ومحتوى النمو الخضرى والبذور من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، والمحتوى المائى النسبى بالأوراق، ودليل ثبات الأغشية الخلوية. هذا.. بينما أدى شدِّ الجفاف إلى إحداث زيادة جوهرية فى نشاط كلٍّ من السوبر أوكسيد ديسميوتيز والكاتاليز، ومحتوى الأوراق من البرولين، والتسرب الأيونى، ومحتوى النمو الخضرى من السيلينيم، وذلك مقارنة بما حدث فى ظروف الرطوبة الأرضية العادية. وتحت ظروف شد الرطوبة أدى الرش الورقى بالبرولين أو السيليكون،

أو المثيونين إلى التغلب على التأثيرات الضارة لشدِّ الجفاف بدرجات متفاوتة. ولقد كانت معاملة السيليكون أفضلها تأثيرًا، حيث حسنت من كل خصائص النمو (الوزن الجاف للنمو الخضرى، وارتفاع النبات، والمساحة الورقية، وعدد الفروع بالنبات)، وخصائص المحصول (وزن البذور الجافة، والمحصول البيولوجى، ووزن ١٠٠ بذرة)، ومحتوى الأوراق من كلوروفيل أ، وب، والكاروتينويدات الكلية، ومحتوى النمو الخضرى والبذور من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، والمحتوى المائى النسبى للأوراق، ودليل ثبات الأغشية الخلوية، كما أحدث زيادة فى محتوى النمو الخضرى من السيليكون ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة تحت ظروف شد الجفاف، وذلك مقارنة بمعاملتى الرش بالبرولين أو المثيونين اللتان كان تأثيرهما المفيد فى التغلب على شد الجفاف بدرجة أقل وكانت معاملة السيليكون — فقط — هى التى تغلبت على التأثيرات السلبية لشد الجفاف على تشريح الأوراق (Merwad وآخرون ٢٠١٨).

ومن المعروف أن السيليكون — الذى يُعد ثانى أكثر العناصر تواجدًا فى قشرة الكرة الأرضية — له تأثيرات عديدة مفيدة للنباتات، مثل زيادة كفاءة البناء الضوئى وتحسين بناء الأجزاء الهوائية للنباتات. ولقد وُجد أن إضافة السليكون للتربة — بدلاً من الحجر الجيرى — أدت إلى زيادة مستوى تحمل الشد الرطوبى فى الفجل؛ ففى مستوى الشد المعتدل (٢٠ كيلوباسكال، مقارنة بمستوى الكفاية ١٠ كيلوباسكال، ومستوى الشد الرطوبى الشديد ٣٠ كيلوباسكال).. أدت إضافة السيليكات إلى تحمل الشدِّ الرطوبى، وتقليل نسبة الجذور المتشققة، وزيادة محصول النمو الخضرى (Lacerda وآخرون ٢٠٢٢).

السيلينيم

أدت إضافة السيلينيم للتربة إلى زيادة تركيزه جوهريًّا فيها. وأحدث خفض ماء الرى للطماطم من ١٠٠٪ إلى ٦٠٪ من السعة الحقلية للتربة زيادة ملحوظة فى التسرب الأيونى ومعلمات الشد التأكسدى البيولوجية (الـ malondialdehyde، وفوق أكسيد الأيدروجين، والسوبرأوكسيد)، وهى التى تواكبت مع زيادة فى محتوى نشاط الحاميات الإنزيمية ومكوناتها (الإنزيمية وغير الإنزيمية) للنشاط الدفاعى المضاد للأكسدة. وبالمقارنة.. حدث

انخفاض فى كلٍّ من صفات النمو، والمحتوى المائى النسبى، ودليل ثبات الأغشية الخلوية، وكفاءة البناء الضوئى، ومحتوى السيلينيم بالنبات والثمار، ومحصول الثمار.. ولقد أحدثت معاملتى السيلينيم ٢٠، و٤٠ مللى مول Se زيادة جوهرية فى محتوى ونشاط الحاميات الأسموزية ومكونات النظام الدفاعى المضاد للأكسدة؛ الأمر الذى انعكس فى خفض للتسرب الأيونى ومعلمات الشد التأكسدى البيولوجية؛ وزيادة فى صفات النمو، والمحتوى المائى النسبى، وكفاءة البناء الضوئى، ومحتوى السيلينيم، والمحصول، وصفات جودة الثمار. ولقد كانت المعاملة الأرضية بالسيلينيم أفضل من المعاملة بالرش الورقى. ولقد كانت المعاملة المفضلة هى الرى عند ٦٠٪ من السعة الحقلية، ومعاملة التربة بالسيلينيم بتركيز ٤٠ مللى مول (Rady وآخرون ٢٠٢٠).

وأمكن الحد من إعاقة وتأخر النمو — الناشئ عن شدِّ الجفاف فى الطماطم — بالمعاملة بالسيلينيم. ولقد أحدثت معاملة السيلينيم زيادة جوهرية فى معدل صافى البناء الضوئى، ومعدل النتح، وتوصيل الثغور، وكفاءة استخدام الماء عما كان عليه الحال فى غياب السيلينيم تحت ظروف شدِّ الجفاف. كذلك ثبَّطت معاملة السيلينيم الزيادة فى تراكم الـ malondialdehyde، والسكريات الذائبة والبرولين بالأوراق، وأنتجت تراكمًا أقل للعناصر المحبة للأكسدة تحت ظروف شدِّ الجفاف. وإضافة إلى ما تقدم بيانه فإن إضافة السيلينيم للمحلول المغذى زادت جوهريًّا من حامض السلسيلك (SA) الداخلى بالجذور وحفَّزت التحول من SA إلى methylated SA بالأوراق تحت ظروف شد الجفاف بتنظيم تعبير عدة جينات ذات صلة. هذا.. وأدت المعاملة بمثبط حامض السلسيلك 1-aminobenzotriazole إلى إلغاء التأثيرات المفيدة للسيلينيم على تحمل شد الجفاف (Fan وآخرون ٢٠٢٢).

المعاملة بمركبات عضوية متنوعة

مركبات من طراز الأوكسينات

أدت معاملة نباتات البسلة — المعرضة لشدٍّ جفافى مُستحث بالبوليثيلين جليكول ٦٠٠٠ — بمركبين من طراز الأوكسينات (كان اسماهما المختصرين TA-12، و TA-14) إلى

استعادة النمو الطبيعي جزئيًّا، وإلى الحد من تراكم البرولين والمركبات الفينولية، والثيولات ذات الوزن الجزيئى المنخفض، بينما لم تستحث تراكم الـ malondialdehyde. كما أظهرت المعاملة بهذين المركبين خفضًا فى محتوى فوق أكسيد الأيدروجين، ومن ثم أحدثت خفضًا فى الشدِّ التأكسدى، وتأكد ذلك بحدوث انخفاض فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: سوبرأوكسيد ديسميوتيز، وكاتاليز، و guaiacol peroxidase. ويُستفاد مما تقدم أن المعاملة بهذين المركبين خفَّفت من التأثيرات السلبية لشدِّ الجفاف. هذا.. والمركبان هما:

1-[2-chloroethoxycarbonyl-methyl]-4-naphthalenesulfonic acid calcium salt (TA-12).

1-[2-dimethylaminoethoxicarbonylmethyl]naphthalene chlormethylate (TA-14).

(Sergiev وآخرون ٢٠١٩).

الأحماض الأمينية

أدى رش نباتات الكرنب بمخلوط من ١٦ حمضًا أمينيًّا بتركيز ١٥٠ مجم/لتر إلى زيادة محتواها من البروتين والفينول والبرولين. كما أدت المعاملة إلى زيادة نشاط إنزيمى البيروكسيديز والكاتاليز، وخاصة تحت ظروف شد الجفاف (وهى عندما يكون الرى بعد وصول الرطوبة الأرضية إلى ٥٠٪ من الرطوبة عند السعة الحقلية). وقد أدى التعرض لشدِّ الجفاف إلى خفض معدل البناء الضوئى والوزنين الطازج والجاف للنمو الخضرى، بينما أدت معاملة الرش بالأحماض الأمينية إلى التغلب على تلك المشاكل وإلى تحسين النمو النباتى تحت تلك الظروف (Haghighi وآخرون ٢٠٢٠).

حامض الأسكوربك

أدى نقع بذور القنبيط فى حامض الأسكوربك بتركيز ٧٥ أو ١٥٠ مجم/لتر إلى تحسين تحمل البادرات لشدِّ الجفاف؛ الأمر قد يكون مرده إلى حث حامض الأسكوربك لحدوث خفض فى نفاذية الأغشية الخلوية وتركيز فوق أكسيد الأيدروجين، ولإحداث

زيادة فى نشاط الكاتاليز والسوبرأوكسيد ديسميوتيز، أو فى المحتوى المائى النسبى بالأوراق، وتركيزات المركبات الفينولية الكلية والبرولين والجليسين بيتين وحامض الأسكوربك (Latif وآخرون ٢٠١٦).

حامض الفوليك

أدى خفض معدل رى الفاصوليا بنحو ٧٠٪ فقط من احتياجاتها المائية — مقارنة بريها بكل احتياجاتها المائية (١٠٠٪) — إلى إحداث خفض جوهرى فى النمو النباتى، والمحتوى المائى النسبى، ودليل ثبات أغشية الخلايا؛ مما أثر سلبيًّا على محصول القرون الخضراء وصفات جودتها من حيث محتوى المواد الصلبة الذائبة والبروتين. كما أحدثت هذه المعاملة زيادة جوهرية فى كلٍّ من الـ malondialdehyde والبرولين والأحماض الأمينية الحرة والسكريات الكلية الذائبة والإنزيمات المضادة للأكسدة: SOD، و CAT، و POX، والألياف بالقرون الخضراء. ولقد كانت جميع المركبات الأسموزية osmolytes التى دُرست والإنزيمات المضادة للأكسدة مرتبطة سلبيًّا وجوهريًّا مع المحتوى المائى النسبى. وتحت ظروف الشدِّ الرطوبى أدى الرش الورقى بحامض الفوليك بمعدل ١٥٠ ميكرومول إلى زيادة كفاءة استخدام المياه وإلى إحداث تحسُّن جوهرى فى معظم الصفات التى دُرست (Ibrahim وآخرون ٢٠٢١).

البرولين

أدى رش نباتات بصل نامية فى أرض ملحية جيرية وتحت ظروف شدِّ رطوبى (الرى بـ ٨٠٪ أو ٦٠٪ من النتح التبخرى).. أدى الرش بالبرولين بتركيز ١–٢ مللى مول إلى تحفيز النمو والوضع المائى النباتى، وكفاءة البناء الضوئى، وزادت كفاءة استخدام المياه بنسبة ٥٠٪ عن معاملة الكنترول، وأحدثت المعاملة بالبرولين زيادة فى محتوى النباتات من السكريات الذائبة، ومحتوى أقل من البرولين والأحماض الأمينية، وحفَّزت المعاملة بوضوح من خصائص نمو النباتات بسبب زيادة المحافظة على سلامة الأغشية الخلوية ومحتوى الأوراق المائى وكفاءة البناء الضوئى وزيادة المحتوى من

الحاميات الأسموزية. ولم تكن لمعاملة الرش تأثيرات يُعتد بها على النباتات التى لم تكن معرضة لشدِّ الجفاف (Semida وآخرون ٢٠٢٠).

البيتين والشيتين

أحدثت معاملتى رش النباتات المعرضة لشدٍّ جفافى (أقل من ٥٠٪ سعة حقلية) بالبيتين betaine بتركيز ٥٠ مللى مول كل أسبوعين أو بالشيتين chitin للتربة بمعدل ٢جم/كجم .. أحدثتا زيادة جوهرية فى المساحة الورقية/نبات بنسبة ٤٨,٥٪، ٢٥,٦٪، على التوالى، وحماية واضحة من أضرار شد الجفاف، وزيادة الوزن الكلى الطازج بنسبة ٢٦,١٪، و٧٥,٠٪، على التوالى. كذلك أدت أى من هاتين المعاملتين — منفردة — إلى إحداث زيادة جوهرية فى المساحة الورقية، والوزن الطازج للنمو الخضرى، والوزن الطازج والجاف الكلى، وصافى البناء الضوئى، وكفاءة استخدام الماء للمحصول وللكتلة البيولوجية، ووفر حماية من شد الجفاف، وبدت الأوراق خضراء وطبيعية المظهر وخالية من الاصفرار. ومع ذلك، فإن الجمع بين المعاملتين لم يزد من مستويات صفات المحصول تحت ظروف شد الجفاف (Lin ٢٠٢٠).

الجلوكوسيدات

أدى رش نباتات فراولة معرضة لشدٍّ جفافى (٥٠٪ من السعة الحقلية) بمحاليل مائية لإثنين من الجلوكوسيدات furostanol glycosides متأخرًا بعد الظهر كل ثلاثة أيام .. أدى إلى تقليص حجم الورقة، وإلى زيادة طول الجذور؛ مما أدى إلى إحداث زيادات جوهرية فى نسبة الجذور إلى النمو الخضرى. وقد تغلبت معاملتا الجلوكوسيد على شدِّ الجفاف وحسَّنتا من معدل البناء الضوئى وكفاءة استخدام المياه، مع زيادة فى كفاءة استقبال الإشعاع الشمسى (Gaulet وآخرون ٢٠١٤).

الـ 24-epibrassinolide

أدى تعريض نباتات الفلفل لشدٍّ جفافى لمدة أربعة أيام إلى خفض المحتوى المائى النسبى للأوراق من ٩٢٪ إلى ٤٧٪، وإلى إحداث خفض كبير فى سلسلة انتقال

الإليكترونات فى عمليات البناء الضوئى. وقد أدت المعاملة بالـ 24-epibrassinolide إلى تحفيز مباشر لنشاط الـ alternative oxidase pathway، مما وفر حماية من تثبيط البناء الضوئى بفعل شد الجفاف (Hu وآخرون ٢٠١٩).

معاملات متنوعة

أكسيد النيتريك

يُعد أكسيد النيتريك nitric oxide من الغازات التى تنتشر فى النسيج النباتى، وتتميز بالقدرة على التغلب على التأثيرات السلبية لعديد من عوامل الشدّ البيئى على النباتات. ويُحصل على هذا الغاز بالمعاملة بالمركب sodium nitroprusside، الذى يُطلق الغاز. وعندما عوملت نباتات البروكولى — وهى بعمر ٤ أسابيع — لشدّ جفافى بالرى عند ٦٠٪ من السعة الحقلية، فإن ذلك أدى إلى خفض الوزن الطازج والجاف للنمو الخضرى، وطول النمو الخضرى، ومحتوى الجليسين بيتين glycine betaine، والمحتوى الكلوروفيللى، مع زيادة فى محتوى حامض الأسكوربك، وفوق أكسيدالأيدروجين، ونشاط إنزيما الكاتاليز وسوبر أوكسيد ديسميوتيز. هذا إلاّ إن المعاملة بأكسيد النيتريك بتركيز ٠,٠٢ مللى مول بنقع البذور قبل زراعتها، أو برش النباتات بعد ثلاثة أسابيع من بدء معاملة التعريض لشدّ الجفاف أدت إلى تحفيز الوزنين الطازج والجاف للنمو الخضرى والكتلة البيولوجية، وطول النمو الخضرى، ومحتوى الكلوروفيل، والجليسين بيتين، والفينولات الكلية، والبروتينات الكلية الذائبة، ونشاط السوبرأكسيد ديسميوتيز والبولى فينول أوكسيديز، وكانت معاملة رش النموات الخضرية أقوى تأثيرًا فى هذا الشأن (Munawar وآخرون ٢٠١٩).

المبيد الفطرى استربيولورين

أدت معاملة نباتات الطماطم بالمبيد الفطرى استربيولورين strobilurin فى بداية مرحلة الإزهار إلى إحداث خفض جوهرى فى إنتاج الإثيلين بالأزهار، خاصة عندما تعرضت النباتات لشدٍ رطوبى معتدل تمثل فى إجراء الرى بما مقداره ٧٥٪ فقط من الماء المفقود بالنتح والتبخر. ولقد أفادت المعاملة فى الحد من الانخفاض فى محصول الثمار

الصالحة للتسويق فى ظروف شدِّ الرطوبة المعتدل، وربما حدث ذلك بسبب خفض معاملة الاستربيولورين لإنتاج الإثيلين بالثمار، ومن ثم منعها لسقوط الأزهار الذى يحدثه الشدِّ الرطوبى (Giuliani وآخرون ٢٠١٩).

غاز الأيدروجين

وُجد أن معاملة بادرات الطماطم بأى من حامض الأبسيسك بتركيز ١٥٠ ميكرومول أو بغاز الأيدروجين أدت إلى زيادة تحملها لشدِّ الجفاف؛ بزيادة كفاءة البناء الضوئى فيها، ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وتعبير الجينات ذات العلاقة تحت ظروف شدِّ الجفاف. ولقد أدت المعاملة بمثبط حامض الأبسيسك fluridone إلى الحد جوهريًّا من التأثيرات الإيجابية للمعاملة بالأيدروجين على كلٍ من طول النبات وقطر الساق ونشاط الجذور تحت ظروف شد الجفاف، بما يفيد بأن حامض الأبسيسك ربما يلعب دورًا حاسمًا فى تأثير المعاملة بالأيدروجين على تحمل بادرات الطماطم لشدِّ الجفاف (Yan وآخرون ٢٠٢٢).

الفصل الثامن

شدّ غدق التربة

التأثير الفسيولوجى لشدّ غدق التربة

تبين لدى مقارنة استجابة صنف البطيخ YL المتحمل لشدّ غدق التربة مع الصنف Zaoja8424 الحساس للغدق، ما يلى:

١- أظهر الصنف المتحمل YL نشاطًا أعلى للإنزيم alternative oxidase (اختصارًا: AOX)، ومستوى أعلى للتعبير عن الجين المسئول عنه، وزيادة فى تنفس الجذور عما حدث فى الصنف الحساس.

٢- ومن ثم كان محتوى الصنف المتحمل أقل من الحساس فى كلٍّ من العناصر المحبة للأكسدة، وفوق أكسيد الأيدروجين، والـ malondialdehyde.

٣- أسهم النشاط العالى لمسار الـ AOX فى تحمل شدّ غدق التربة من خلال التغلب التنفسى على أضرار الأكسدة (Zheng وآخرون ٢٠٢١).

ولقد وُجد فى دراسة على الطماطم أن معاملات غدق التربة waterlogging أدت ابتداءً إلى خفض عدد الثمار بالنبات، ثم إلى خفض متوسط وزن الثمرة. وربما حدث الانخفاض فى متوسط وزن الثمرة بسبب انخفاض محتوى التربة من العناصر بسبب الغسيل، وانخفاض امتصاص النبات للعناصر بسبب الظروف اللاهوائية بالتربة، والانخفاض فى معدل البناء الضوئى. ويستفاد مما تقدم أن إضافة الأسمدة بعد نوبات الرى الغزيرة قد تُفيد فى التغلب على النقص فى المحصول. ولقد أحدث غدق التربة — كذلك — خفضًا فى المحتوى الرطوبى بالثمار، وزيادة فى نسبة السكر إلى الحامض بها.

ولقد تباينت الأصناف فى تأثرها بغدق التربة، وكان أكثرها تحملاً الصنف Natsunoshun (Ide وآخرون ٢٠٢٢).

وسائل التغلب على شدٍّ غدق التربة

التطعيم

أدى تطعيم الكنتالوب المر bitter melon إلى تحسين تحمل النباتات لظروف شدٍّ غدق التربة، وذلك بزيادة نشاط إنزيمات التنفس اللاهوائى فى الجذر الوتدى والجذور العرضية، مع حدوث اتساع فى البرانشيمات الهوائية aerenchyma بالجذور العرضية للكنتالوب المر (Peng وآخرون ٢٠٢٠).

المعاملة بالجليسين بيتين

أحدث غدق التربة waterlogging خفضًا فى نمو نباتات الطماطم، وأدى إلى تحلل الكلوروفيل، وزيادة تركيز الـ malondialdehyde وفوق أكسيد الأيدروجين، مع تدهور فى الأغشية الخلوية، ومع زيادة فى نشاط إنزيمى الكاتاليز والبيروكسيديز، وزيادة فى تركيز الصوديوم، وخفض فى تركيز البوتاسيوم بالنبات، وتركيز الكالسيوم بالجذور. وبالمقارنة.. أدت المعاملة بالجليسين بيتين glycine betaine تحت ظروف شد غدق التربة إلى تحفيز النمو وتركيز الكلوروفيل ونشاط السوبرأوكسيد ديسميوتيز والكاتاليز والبيروكسيديز؛ الأمر الذى وفر حماية للنباتات من شد الغدق. كذلك أدت المعاملة بالجليسين بيتين إلى تحسين جودة الثمار بزيادتها لمحتواها من كل من البروتين والرماد والدهون والمواد الصلبة الذائبة الكلية والكالسيوم، مع خفض فى محتواها من الصوديوم (Rasheed وآخرون ٢٠١٨).

الفصل التاسع

شدّ قلوية التربة

التأثير الفسيولوجى لشدّ قلوية التربة

يحدث شد قلوية التربة نتيجة لتراكم كربونات الصوديوم وبيكربونات الصوديوم فى التربة، وذلك فى المناطق شبه الجافة نتيجة للزراعة الكثيفة، واستعمال ماء عَسِر فى الرى، وتواجد الحجر الجيرى فى التربة. وفى الكرنب .. تُحدِث التربة القلوية خفضًا واضحًا فى الكتلة البيولوجية وتؤدى إلى تراكم الصوديوم، ونقص فى مختلف العناصر، وخفض فى قدرة البناء الضوئى وفى نشاط إنزيم السوبرأوكسيد ديسميوتيز، مع تراكم للمركبات النشطة فى الأكسدة (de la Torre-González وآخرون ٢٠١٨).

وقد دُرس تأثير بيكربونات الصوديوم (التى تؤدى إلى زيادة قلوية التربة) على سبعة أصناف من الفراولة، ووُجد أن بيكربونات الصوديوم رفعت كل من التوصيل الكهربائى، وpH بيئة الزراعة. وبزيادة مستوى بيكربونات الصوديوم من صفر إلى ١٥، ثم إلى ٣٠ مللى مول حدث انخفاض فى كلٍّ من النمو الخضرى والثمرى، وفلورة الكلوروفيل، ومحتوى الماء النسبى بالأوراق، وكان الصنف كاماروزا الأكثر حساسية. وقد تدهورت دلائل البناء الضوئى مع زيادة بيكربونات الصوديوم، وكان الصنف Paros الأكثر تحملاً والصنف كاماروزا الأكثر حساسية لشدِّ القلوية (Shamsabad وآخرون ٢٠٢١).

معاملات التغلب على شدّ قلوية التربة

التطعيم

وُجد أن تطعيم الخيار على أصل *Cucurbita moschata* قلل من التأثيرات الضارة لقلوية التربة على امتصاص العناصر؛ حيث ازداد بالمعاملة امتصاص عناصر البوتاسيوم والحديد والمنجنيز والمغنيسيوم (Roosta & Bikdeloo ٢٠٢٢).

سلفيد الأيدروجين

أدت المعاملة بسلفيد الأيدروجين hydrogen sulfide (وهو H_2S) بتركيز ٠,٥ مللى مول إلى جعل نباتات الكرنب أكثر تحملاً لشدّ القلوية. وتمثل ذلك فى زيادة فى تحسين المعاملة لاستجابة تضادية الأكسدة تحت ظروف القلوية، متضمنة نشاط السوبر أوكسيد ديسميوتيز، وتوازن تمثيل الجلوتاثيون، وخفض نشاط الإنزيمات الداخلة فى إنتاجه (Montesinos-Pereira وآخرون ٢٠١٨).

ولقد دُرس تأثير الزراعة المائية للفراولة فى ثلاثة مستويات من القلوية أُحدثت بمعاملة المحلول المغذى بثلاثة مستويات من بيكربونات الصوديوم، هى: صفر، و١٥، و٣٠ مللى مول، مع ثلاث معاملات بالرش الورقى بسلفيد الأيدروجين H_2S، هى: صفر، و ٠,٢، و٠,٥ مللى مول. ووُجد — مقارنة بمعاملة الكنترول — أن شدّ القلوية يقلل الكتلة البيولوجية للنبات، ومحصول الثمار، وكفاءة جهاز البناء الضوئى، وقيمة SPAD، كما أحدث شد القلوية شدًّا تأكسديًّا تمثل فى تراكم العناصر المحبة للأكسدة. وفى المقابل فإن المعاملة بسلفيد الأيدروجين أدت إلى استعادة جهاز البناء الضوئى لنشاطه، وحدث انخفاض فى العناصر المحبة للأكسدة، وتحسنًا فى نظام الدفاع المضاد للأكسدة، وكان تأثير هذه المعاملة أفضل فى المستوى المنخفض (١٥ مللى مول بيكربونات صوديوم) من شد القلوية، مقارنة بشدّ ٣٠ مللى مول (Bahmabiglo & Eshghi ٢٠٢١).

الفصل العاشر

شدّ نقص أو سمية العناصر المغذية الضرورية

تأثير الضوء على امتصاص العناصر

من المعروف أن الضوء يلعب دورًا فى امتصاص العناصر والاستفادة منها فى النباتات، لكن لا يُعرف على وجه التحديد كيف يُنظم الضوء امتصاص العناصر. ولقد تناول Xu وآخرون (٢٠٢١) موضوع تأثير نوع الإضاءة وشدتها والفترة الضوئية على امتصاص العناصر واستخداماتها فى المحاصيل البستانية لأجل زيادة المحصول وزيادة كفاءة استخدام الأسمدة.

النيتروجين

النترات

أدى شد زيادة النترات nitrate إلى استنفار خفض جوهرى فى نمو بادرات السبانخ، وزيادة فى أكسدة الدهون ومحتوى فوق أكسيد الأيدروجين. هذا.. إلا إن المعاملة بأكسيد النيتريك nitric oxide حفز تحمل النباتات لشد زيادة النترات بخفضها لنشاط العناصر المحبة للأكسدة وسمية العناصر النيتروجينية النشطة فى التفاعل reactive nitrogen species (Zheng وآخرون ٢٠١٦).

الأمونيوم

وُجد أن زيادة النيتروجين الأمونيومى فى المحلول المغذى للخس عن ٥٠٪ حدَّ كثيرًا من النمو النباتى ومن تراكم الكالسيوم والبوتاسيوم فى النباتات. وأدت المعاملة بكربونات الكالسيوم إلى العمل كـ buffer حسَّن من النمو فى وجود التركيز العالى من الأمونيوم (Weil وآخرون ٢٠٢١).

وأحدثت معاملة الفجل بتركيز عالٍ من الأمونيوم (٣٠ مللى مول) خفضًا فى كلٍّ من البناء الضوئى لبادرات الفجل، والنتح، والكتلة البيولوجية الجافة، ولم يمكن لمعاملة السيليكون (٢ مللى مول/لتر) التغلب على تلك التأثيرات السلبية، لكن التأثيرات السلبية لتركيزات أقل من الأمونيوم (٧,٥، و ١٥، و٢٢,٥ مللى مول) أمكن التغلب عليها بالمعاملة بالسيليكون؛ مما سمح بإنتاج بادرات تحسّن فيها البناء الضوئى، وكفاءة استخدام الماء، والكتلة البيولوجية الكلية، وكان أثر النتح وتوصيل الثغور بمعاملة السيلينيم أقل وضوحًا (Viciedo وآخرون ٢٠٢٠).

البوتاسيوم

بينما أدى نقص البوتاسيوم فى المحاليل المغذية إلى ٢ مللى مول K إلى تثبيط نمو الخس فى المزارع المائية.. فإن رش النباتات بالبرولين بتركيز ١,٠ أو ١,٥ مللى مول أدى إلى التغلب على حالة تثبيط النمو تلك. وتحت ظروف نقص البوتاسيوم حثت المعاملة بالبرولين من نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وزادت من محتوى الأوراق من البرولين والسكريات الذائبة وحامض الأسكوربك، وخفّضت من مستويات الـ MDA، وأكسدة الدهون وفوق أكسيد الأيدروجين؛ الأمر الذى حدَّ من أضرار الأكسدة. وبدا أن معاملة البرولين أدت إلى زيادة معدل النمو النسبى، من خلال زيادتها .. لنسبة المساحة الورقية بصفة أساسية، وصافى معدل البناء الضوئى بدرجة أقل (Zhang وآخرون ٢٠٢٠).

الكالسيوم

وُجد أن نقص الكالسيوم أحدث شدًّا تأكسديًّا فى نباتات الجرجير، بزيادة دليل التسرب الأيونى، ومحتوى المركبات المؤكسِدة، وخفضًا فى إنتاج المادة الجافة والجودة. وأدت إضافة السيليكون إلى المحلول المغذى تحت ظروف نقص الكالسيوم إلى خفض دليل التسرب الأيونى، وزيادة محتوى حامض الأسكوربك والفينولات الكلية والكاروتينويدات وكفاءة جهاز البناء الضوئى وإنتاج المادة الرطبة والجافة. كما أحدثت إضافة السيليكون فوائد مماثلة فى ظروف كفاية الكالسيوم. وبذا.. فإن التخصيب

بالسيليكون فى المحلول المغذى يُفيد فى تحسين إنتاج ونوعية الجرجير (da Silva وآخرون ٢٠٢١).

الحديد

أدى نقص أو زيادة الحديد فى المزارع المائية للخيار إلى خفض النمو وتراكم الكتلة البيولوجية، وحث حالة الإصفرار chlorosis، والشدّ التأكسدى، وتقليل المحتوى الكلوروفيللى، ومعدل البناء الضوئى، ومعدل النتح بالأوراق. وكانت التأثيرات السلبية لنقص الحديد أكثر وضوحًا عن تأثيرات زيادة العنصر. ولقد أحدثت المعاملة بالميلاتونين melatonin (وهو: N-acetyl-5-methoxytryptamine) زيادة فى محتوى الميلاتونين الداخلى وخفضًا فى التسرب الأيونى، وفى تراكم العناصر المحبة للأكسدة والـ lipid peroxidation، بتحسين نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة والإنزيمات الثانوية المرتبطة بالأيض، وتركيز الفينولات والفلافونويدات فى ظروف نقص وزيادة الحديد بعد المعاملة بالميلاتونين. وأوضح تحليل محتوى الحديد فى الأوراق والجذور أن الميلاتونين أدى إلى زيادة محتوى الحديد فى ظروف نقص العنصر، وإلى نقص محتوى العنصر فى ظروف زيادته. وتبين أن الميلاتونين يلعب دورًا مزدوجًا فى امتصاص العنصر فى ظروف نقصه أو زيادته (Ahammed وآخرون ٢٠٢٠).

الزنـــك

وُجد أن المعاملة بالـ 24-Epibrassinolide بتركيز ٠,١ ميكرومول قللت جوهريًا من الأضرار التأكسدية التى أحدثتها سُمية الزنك، ظهر ذلك فى زيادة النمو النباتى وخفض تراكم الزنك وفوق أكسيد الأيدروجين والـ malondialdehyde، الأمر الذى حدث من خلال تحضير دورة الـ ascorbic acid-glutathione بزيادة نشاط الجينات والإنزيمات المفتاحية فيها (Wu وآخرون ٢٠١٦).

النحاس

أدت زيادة النحاس فى المحاليل المغذية للكرنب والبنجر (حتى ١٫٠٢ مجم/لتر) إلى الحد من النمو، وإلى تراكم العنصر فى الأعضاء النباتية؛ مما يشكل خطورة على صحة الإنسان الذى يتناول تلك الخضر فى غذائه (Schmitt وآخرون ٢٠٢٠).

وأدت زراعة الخس فى تربة ملوثة بالنحاس إلى خفض محتواه من حامض الفينولك وتركيز الفلافونويدات والنشاط الكلى المضاد للأكسدة، بينما لم تتأثر الأنثوسيانينات بالخس. وأدت إضافة البيوشار إلى تلك التربة إلى استعادة الخس لمحتواه من النشاط المضاد للأكسدة والفلافونويدات، مع زيادة فى محتواه من الفينولات وحامض الفينولك والأنثوسيانينات. هذا وقد كان حامض الكلوروجنك الفينول الرئيسى والكورستين الفلافونويد الرئيسى (Quartacci وآخرون ٢٠١٧).

البورون

يمكن أن تؤدى الحساسية لنقص البورون فى بيئات الزراعة خلال المراحل المبكرة من نمو بادرات البطيخ إلى تثبيط نمو وتطور النباتات. ولقد وُجد أن تطعيم صنف البطيخ Mahubi على أصل الكوسة *C. pepo* الهجين Tiana إلى زيادة الوزن الجاف للبطيخ جوهريًّا تحت ظروف نقص البورون، مع زيادة تركيز البورون فى النموات الخضرية. وعلى العكس من ذلك.. أدى التطعيم إلى نقص تركيز البورون فى النموات الخضرية تحت ظروف زيادة تركيز البورون فى بيئة الزراعة. وحسَّن التطعيم على الكوسة — كذلك — من امتصاص عدة عناصر، مع زيادة فى المحتوى الكلوروفيللى. وتحت ظروف شدِّ نقص البورون أدى تطعيم البطيخ على الكوسة إلى زيادة نشاط عدة إنزيمات مضادة للأكسدة، مثل الكاتاليز، والسوبرأوكسيد ديسميوتيز، والبيروكسيديز، مع خفض جوهرى فى كل من الـ H_2O_2 والـ malondialdehyde (Siamak & Paolo ٢٠١٩).

الفصل الحادى عشر

شد سمية المعادن الثقيلة

مقدمة

إن إنتاج الخضر فى المناطق الملوثة بالمعادن الثقيلة له مخاطره الصحية لما لتلك العناصر من تأثيرات ضارة على صحة الإنسان، فضلاً عن أضرارها على إنتاج الخضر ونوعيتها. ومن أهم تلك العناصر الثقيلة: الخارصين (As)، والبورون (B، وهو كذلك عنصر ضرورى)، والكادميم (Cd)، والكروم (Cr)، والكوبالت (Co)، والنحاس (Cu وهو كذلك عنصر ضرورى)، والحديد (Fe وهو كذلك عنصر ضرورى)، والرصاص (Pb)، والزئبق (Hg)، والموليبدنم (Mo وهو كذلك عنصر ضرورى)، والنيكل (Ni)، والاسترونشيم strontium (Sr)، والقصدير tin (Sn)، والتيتاتيم (Ti)، والفاناديم (V)، والزنك (Zn وهو كذلك عنصر ضرورى).

ومن مصادر المعادن الثقيلة فى البيئة مصادرها الطبيعية، ومن النشاط الإنسانى. ومن أهم المصادر الطبيعية تجوية weathering الصخور الغنية بها. هذا.. إلاّ إنه فى المناطق الساحلية يؤدى تساقط رذاذ البحر إلى زيادة محتوى التربة من البورون. ويُعد أهم النشاط الإنسانى كمصدر للمعادن الثقيلة فى الأراضى المزروعة هو الرى بماء الصرف الصحى المعالج، وإضافة المواد الصلبة البيولوجية المتبقية للتربة، وتلوث الهواء.

تمتص النباتات المعادن الثقيلة أساسًا عن طريق الجذور، وبدرجة أقل عن طريق الأوراق من خلال الثغور والتشققات الأديمية، والـ ectodesmata التى تتواجد فى خلايا البشرة بالأوراق، والثغور المائية. ويؤدى امتصاص المعادن الثقيلة إلى تراكمها بالخضر وثمار الفاكهة، ثم تسربها إلى سلسلة غذاء الإنسان؛ الأمر الذى قد يتسبب فى الإصابة بالتأخر العقلى، وأنواع مختلفة من السرطان، والإضرار بالكلى، واختلال النشاط الهرمونى endocrine distruption، وتأثيرات مناعية وعصبية.

كذلك فإن التركيزات العالية من المعادن الثقيلة تؤثر على نمو ومحصول كثير من النباتات. فالزنك والكروم يقللان من النشاط الأيضى ويستحثان أضرار أكسدة؛ والنحاس يستحث شد أكسدة وزيادة العناصر المحبة للأكسدة؛ والزئبق يمكن أن يُحدث أضرارًا منظورة وعيوب فسيولوجية؛ والكروم يؤثر فى عملية البناء الضوئى من خلال تأثيره على تثبيت ثانى أكسيد الكربون وانتقال الإليكترونات والفسفرة الضوئية ونشاط الإنزيمات؛ والرصاص يستحث تكوين نموات غير طبيعية؛ والنيكل يُفسد التوازن بين العناصر؛ مما يحدث خللاً بوظائف الأغشية الخلوية؛ والحديد يُسبب إنتاج شوارد تضر ضررًا لا رجعة فيه بتركيب الخلية وبالأغشية الخلوية وبالدنا والبروتينات؛ والخارصين يُحدث تحللاً بالأوراق وذبولاً، وتلونًا بالجذور وإعاقة للنمو الخضرى (Edelstein & Ben-Hur ٢٠١٨).

أضرار وفسيولوجيا شد المعادن الثقيلة

أدى الرى بمياه صرف صناعى إلى تراكم العناصر الثقيلة فى التربة، وهى التى تراكمت — بدورها — فى نباتات القنبيط التى زُرعت فيها، وكان الحديد أكثر العناصر الثقيلة تراكمًا فى نباتات القنبيط، بينما كان الكادميم أقلها تراكمًا (Kumar وآخرون ٢٠١٩).

ولجذور الجزر القدرة على امتصاص الرصاص والزرنيخ بتركيزات عالية يمكن أن تضر بصحة من يستهلكها، وذلك إذا كانت التربة ملوثة بهذين العنصرين. ففى دراسة تراوح فيها تركيز الزرنيخ من ٩٣ إلى ٢٩١ مجم/كجم والرصاص من ٣٥٠ إلى ٩٦١ مجم/كجم من التربة حدث تراكم للعنصرين بجذور الجزر الذى زُرع فيها؛ حيث وصل تركيزهما إلى ٠,٣٨ إلى ١,٦٤ مجم/كجم من الجذور للزرنيخ، و ٢,٦٧ إلى ٧,٣ مجم/كجم للرصاص (Colding وآخرون ٢٠١٥).

ولقد وُجد أن للشيكوريا القدرة على معادلة سُمية الألومنيوم والرصاص وعدم نقله من الجذور إلى الأجزاء المأكولة من النبات. وظهر ذلك فى صورة زيادة فى الأسموزية

وفى تطوير نظام دفاعى قوى مضاد للأكسدة؛ مما يجعل الشيكوريا أحد المحاصيل التى تُناسب الزراعة فى الأراضى الملوثة بالرصاص والألومنيوم (Malik وآخرون ٢٠٢١).

وأظهرت السبانخ النامية فى محلول مغذٍ ملوث بالكادميم (٢٥ ميكرومول) لمدة يوم إلى سبعة أيام انخفاضًا فى الكتلة البيولوجية، ومحتوى الكلوروفيل بالأوراق، مع زيادة فى محتوى الـ malondialdehyde، وتأثر جهاز البناء الضوئى مع أكسدة الدهون. وكانت آليات الدفاع الأساسية ضد شدِّ الأكسدة المستَحث هى تنشيط إنزيمات الكاتاليز، والجلوتاثيون رِدكتيز، والـ guaiacol peroxidase. ويُستفاد من نشاط الجلوتاثيون رِدكتيز اشتراك الجلوتاثيون فى الحماية من سمية الكادميم، ولقد تأثر امتصاص الزنك والبوتاسيوم والحديد والنحاس — أساسًا — فى فترة التعرض للكادميم لمدة أسبوع. هذا.. ولم تُظهر الأوراق أى أعراض للتسمم بالكادميم وبَدت صحيحة على الرغم من احتوائها على تركيزات عالية من العنصر بلغت ٣٥ مجم/كجم وزن جاف؛ بما يحمله ذلك من مخاطر صحية على من يتناول تلك النباتات الملوثة بالعنصر فى غذائه (Pinto وآخرون ٢٠١٧).

معاملات الحد من شدِّ المعادن الثقيلة

البيوشار

يُعد تلوث التربة بالمعادن من أكبر المخاطر على الصحة جراء تأثيره على سلسلة الغذاء. ولقد ثبت أن البيوشار biochar أداة زراعية واعدة لتحسين محصول النباتات وجودة محاصيل الخضر. ولقد أدت إضافة البيوشار إلى تربة ملوثة بالمعادن بمعدل ٥ أو ١٠ طن للهكتار (٢,١ أو ٤,٢ طن للفدان) إلى تراكم عنصرى النحاس والزنك فى الجزء غير المأكول من نباتات الطماطم بنسبة ٨٠٪، و٨٤٪، بينما انتقل ٢٠٪، و١٦٪ من العنصرين — على التوالى — إلى الثمار. كذلك احتفظ الجزء غير المأكول من النباتات بالرصاص والكادميم بنسبة ٩٩,٩٪، و٩٩,٨٪ – على التوالى — مقارنة بنسبة ٠,١٪، و٠,٢٪ من العنصرين — على التوالى — فى الثمار. وقد تناقص تركيز المعادن فى أنسجة

الطماطم بزيادة كمية البيوشار المضافة للتربة. ومع إضافة البيوشار ازدادت الحموضة الكلية بالثمار بنسبة ٣٣٪، والمواد الصلبة الذائبة الكلية بنسبة ٢٩٪، وفيتامين ج بنسبة ٣٩٪، والليكوبين بنسبة ٢٤٪. كذلك أدت إضافة البيوشار إلى زيادة تيسر العناصر الضرورية وامتصاصها، مع الحد من امتصاص العناصر السامة (Almaroai & Eissa ٢٠٢٠).

وأدت إضافة بيوشار الكازورينا للتربة إلى خفض تيسر العناصر الثقيلة فيها، وخفض امتصاص نباتات الكوسة لها، وتحفيز نموها. وعندما أضيف بيوشار الكازورينا والمانجو، والصفاف *Salix* إلى التربة بمعدل ٢٪ ازداد الوزن الجاف للجذور والنمو الخضرى بنفس هذا الترتيب. ومقارنة بالتربة غير المعاملة، فإن إضافة بيوشار الكازورينا بمعدل ٤٪ خفَّض تركيز العناصر الثقيلة فى الجذور والسيقان — على التوالى — بالنسب التالية: Cd (٢٥,٧٪، و٣٧,٢٪)، و Co (٥٢,١٪، و٦٦,٩٪)، و Cr (١٢,١٪، و٢٤,٣٪)، و Cu (٣٢,٣٪، و٤٠,٢٪)، وNi (٣١,٠٪، و٤٢,٠٪)، و Pb (٨٥,١٪، و٨٩,٢٪)، و Zn (٢٥,٢٪، و٣٥,٥٪). كانت معاملة الكازورينا بمعدل ٤٪ الأكثر فاعلية فى خفض امتصاص العناصر الثقيلة فى كلٍ من الجذور والنموات الخضرية، كما كانت الأكثر فاعلية فى خفض تيسر العناصر الثقيلة فى التربة. هذا.. وقد أحدثت جميع معاملات البيوشار زيادة جوهرية فى pH التربة وتوصيلها الكهربائى، وفى محتواها من المادة العضوية مقارنة بالتربة التى لم يضف إليها البيوشار (Ibrahim وآخرون ٢٠٢٢)

الفوسفور

يزداد تركيز الألومنيوم فى الأراضى العالية الحموضة إلى درجة السمية. وفى السبانخ.. أدت زيادة الألومنيوم إلى زيادة فى نشاط الإنزيمات: GPX، و GR، و APX، وإلى خفض فى نشاط CAT، وفى صبغات البناء الضوئى. ومع التسميد بالفوسفور — تحت ظروف شدّ الألومنيوم — حدث خفض فى كلٍ من محتوى الـ MDA وفوق أكسيد الأيدروجين، مع

تحسين جزئى فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وخفض فى أكسدة الدهون (Karimaei وآخرون ٢٠٢٢).

أملاح الكالسيوم والصوديوم

فى دراسة عُرِّضت فيها نباتات الكوسة الزوكينى وهى بعمر ١٠ أيام لتركيزات صفر، و٥٠، و١٠٠ مجم/لتر من النيكل لمدة ١٥ يومًا.. تسبب كلا التركيزين فى خفض لكلٍّ من الوزن الجاف والرطب للنمو الخضرى والجذور، والمساحة الورقية، والمحتوى المائى للأوراق، وصبغات البناء الضوئى بسبب تراكم النيكل، مع نضوب للعناصر الضرورية فى الأنسجة. كذلك أدى شدِّ النيكل إلى زيادة التسرب الأيونى، وخفض للمحتوى البروتينى الكلى، ونشاط الكاتاليز والـ nitrate reductase فى الأوراق. ولقد أدى رش النموات الخضرية بأى من الـ sodium hydrosulfide (وهو NaHS) أو كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) منفردين أو مجتمعين إلى تحسين دلائل النمو ومحتوى كلوروفيل أ، ب، والكاروتينويدات تحت ظروف شدِّ النيكل، وكذلك فى ظروف عدم الشدِّ. وأدت المعاملة بأى من المركبين – وخاصة بكليهما معًا – إلى خفض تراكم النيكل فى الجذور والنموات الخضرية، وخفض امتصاص العنصر وانتقاله فى النبات، وقللت التسرب الأيونى وزادت من نشاط الكاتاليز فى الأوراق. وحسَّنت المعاملة بأى من المركبين أو بهما معًا من توازنات العناصر الكبرى والصغرى (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والحديد والنحاس) فى كلٍّ من الجذور والنموات الخضرية، وزادت من المحتوى البروتينى الكلى، وحفزت نشاط الـ nitrate reductase فى الأوراق تحت ظروف شدِّ النيكل (Valivand & Amooaghaie ٢٠٢١).

السيلينيم

تُفيد المعاملة بالسيلينيم فى تحسين النمو النباتى وزيادة مضادات الأكسدة فى كل من ظروف شدِّ الكادميم والظروف العادية؛ مما يقلل من أضرار سمية الكادميم. فالسيلينيم.. على الرغم من أنه عنصر ضرورى للإنسان، فإنه لا يُعد ضروريًا للنبات،

وإن كان يلعب دورًا مفيدًا فى تحسين النمو النباتى وتحمل حالات الشدِّ البيئى. وقد وُجد أن المعاملة بالسيلينيم فى المحاليل المغذية للفلفل بتركيز ٧ ميكرومول أحدثت زيادة جوهرية فى المساحة الورقية فى النباتات المعاملة بالكادميم بتركيز ٠,٢٥ مللى مول. وأدت المعاملة بتركيزات متباينة من السيلينيم والكادميم (٣ ميكرومول Si مع ٠,٢٥ مللى مول Cd، و ٣ أو ٧ ميكرومول Si مع ٠,٥ مللى مول Cd) إلى زيادة نشاط الكاتاليز. وقد خفَّض السيلينيم عند تركيز ٧ ميكرومول من محتوى البرولين فى الأوراق عند تركيز ٠,٥ مللى مول Cd. وعمومًا فقد أحدثت المعاملة بالسيلينيم زيادة جوهرية فى النشاط المضاد للأكسدة بالأوراق، وهو النشاط الذى قلله التسمم بالكادميم (Shekari وآخرون ٢٠١٧).

وأدت معاملة نباتات الخيار بالسيلينيم بتركيز ٦ مجم/لتر إلى التغلب على التأثيرات السلبية لشدِّ العناصر الثقيلة بتركيز ٢٠ أو ٢٥ ميكرومول من الكادميم، أو بتركيز ٦٠ و ١٠٠ ميكرومول من الرصاص؛ حيث حسَّنت معاملة السيلينيم من دلائل الإزهار والمحصول الكلى؛ فكان الإزهار أبكر وازدادت نسبة الأزهار المؤنثة إلى المذكرة، وعدد الثمار وطولها وقطرها ومتوسط وزن الثمرة (Shexari وآخرون ٢٠١٩).

وأحدث شدِّ زيادة تواجد الكادميم فى بيئة الزراعة تغييرات سلبية كبيرة فى نباتات الفراولة، كان منها خفض نشاط إنزيمات السوبرأوكسيد ديسميوتيز، والأسكوربيت بيروكسيديز، والكاتاليز، والإنزيم المسئول عن تمثيل الجلوتاثيون، وكذلك إحداث تدهور فى ارتفاع النبات والكتلة البيولوجية ومحصول الثمار وصفات الجودة، وزيادة فى نشاط الأسكوربيت أُكسيديز، والجلوتاثيون ردكتيز والإنزيم المسئول عن تمثيل حامض الأسكوربك ومحتوى الـ malondialdehyde وفوق أكسيد الأيدروجين ومحتوى الكادميم، مقارنة بالوضع فى نباتات الكنترول. ولقد أدت المعاملة بتركيزات منخفضة من السيلينيم (٥ أو ١٠ ميكرومول من Na_2SeO_3) إلى تحمل النباتات للكادميم بتنظيم قدراته المضادة للأكسدة وخفض تراكم الكادميم، وزيادة محصول الثمار وجودتها (Zhang وآخرون ٢٠٢٠).

أكسيد النيتريك

كان لتعرض الفلفل لشدِّ الكادميم بتركيز ٠,١ مللى مول $CdCl_2$ المصاحَب بشدٍّ للرصاص بتركيز ٠,١ مللى مول $PbCl_2$ تأثيرات لافتة — عن التعرض لشدٍّ أى من العنصرين منفردًا– على كُلٍّ من الكتلة الجافة للنباتات، وكفاءة البناء الضوئى ، والمحتوى الكلوروفيللى، والمحتوى الرطوبى النسبى، والتسرب الأيونى، وفوق أكسيد الأيدروجين، والـ malondialdehyde، والبرولين، مع ارتفاع فى نشاط الإنزيمات المفتاحية المضادة للأكسدة، متضمنة البيروكسيديز، والسوبرأوكسيد ديسميوتيز، والكاتاليز، والـ lipoxygenase، وكذلك مستويات مضادات الأكسدة غير الإنزيمية: حامض الأسكوربك، والجلوتاثيون. ولقد كانت المعاملة بأكسيد النيتريك nitric oxide (فى صورة ٠,١ مللى مول nitroprusside، الذى يُطلق أكسيد النيتريك) فعَّالة فى تحسين خصائص النمو المفتاحية، بينما قللت هذه المعاملة من التسرب الأيونى، والبرولين، و malondialdehyde، وفوق أكسيد الأيدروجين، وكذلك قللت نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وذلك فى النباتات التى كانت تتعرض لشدٍّ واحد (شدِّ الكادميم أو الرصاص)، أكثر مما فى النباتات التى تعرضت لشدِّ العنصرين معًا، وبينما أدى شد العنصرين إلى زيادة مستويات الكادميم والرصاص، فإنه أحدث خفضًا فى مستوى الكالسيوم والبوتاسيوم، وعكست المعاملة بالـ nitroprusside كل تلك التأثيرات (Kaya وآخرون ٢٠١٩).

الـ 3-epibrassinolide

أحدث تعريض بادرات الخيار لشدٍّ من الكادميم تسممًا للبادرات، لكن ذلك التأثير أمكن الحد منه بنقع البذور فى محلول من الـ 3-epibrassinolide (اختصارًا: 3-EBL) بتركيز ٥ ميكرومول (كان هذا التركيز أفضل من ١ أو ١٠ ميكرومول). أدت المعاملة إلى خفض مستوى الكادميم بالأوراق بالحد من انتقال العنصر إليها. ولقد أدت المعاملة بالـ 3-EBL إلى تحفيز النمو الخضرى والكتلة البيولوجية للبادرات المعرضة لشدِّ الكادميم. كذلك خفَّضت المعاملة بالـ 3-EBL من الـ MDA والشوارد المحبة للأكسدة فى البادرات

المعاملة، مع تنظيم المعاملة لفعل الجينات التى استجابت لحالة الشد بالكادميم (Shah وآخرون ٢٠٢٠).

الميلاتونين

يؤدى شدّ الكادميم إلى وقف نمو نباتات الفراولة، مع خفض فى الكتلة البيولوجية للشتلات، وفى محتوى الكلوروفيل، ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: سوبر أوكسيد ديسميوتيز، وبيروكسيديز، وكاتاليز، وأسكوربيت بيروكسيديز، ولقد أمكن التغلب على تلك التأثيرات السامة بالرش بالميلاتونين melatonin بتركيز ١٠٠ ميكرومول/لتر؛ حيث أدت المعاملة إلى إبطاء التأثير المثبِّط للكادميم على نمو البادرات، وأحدثت زيادات معنوية فى الكتلة البيولوجية للبادرات، وفى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة ومستويات البروتين الذائب فى الأوراق والجذور. كذلك أنقصت معاملة الميلاتونين من محتوى الـ malondialdehyde وتفاعلات شد الأكسدة، كما زادت من محتوى الأنثوسيانين وأبطأت من سرعة الشيخوخة (Wu وآخرون ٢٠٢١).

وفى دراسة على الباذنجان.. أجريت المعاملة بالميلاتونين 4-hydroxymelatonin (اختصارًا: 4-OHMT) تحت ظروف شدٍّ النيكل، ووُجد أن شدِّ النيكل قلل من كلٍّ من النمو ومحتوى الأوراق النسبى من الماء ومحتوى الكلوروفيل ومحتوى ثانى أكسيد الكربون بين الخلايا، لكن المعاملة بالميلاتونين أدت إلى تحفيز النمو وصافى معدل البناء الضوئى، وخصائص تبادل الغازات. وقد ضخمت معاملة الميلاتونين من نشاط السوبر أوكسيد ديسميوتيز والكاتاليز والأسكوربيت بيروكسيديز، وأظهرت النباتات المعاملة مستوى أعلى من الجلوتاثيون. وقد أُرجع التخلص من شد النيكل بفعل معاملة الميلاتونين إلى خفضها لمستوى فوق أكسيد الأيدروجين والـ malondialdehyde والتسرب الأيونى. وقد خفَّضت المعاملة من محتوى النيكل بالجذور والنمو الخضرى (Shah وآخرون ٢٠٢١).

مصادر الكتاب

حسن، أحمد عبدالمنعم (١٩٨٨). أساسيات وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (الصوبات). الدار العربية للنشر والتوزيع — القاهرة ٩٢٠ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم (١٩٩٨). أساسيات وفسيولوجيا الخضر، المكتبة الأكاديمية — القاهرة — ٥٩٦ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم (٢٠١٥). أساسيات وتكنولوجيا إنتاج الخضر. دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع — القاهرة – ٩٦٨ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم (٢٠١٧). عوامل الشد البيئى ووسائل الحد من أضرارها. دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع — القاهرة — ٦٤٨ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم (٢٠١٨). تحديات إنتاج وتصدير الطماطم ووسائل التغلب عليها. دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع — القاهرة — ٣٣٥ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم (٢٠٢٠). القرعيات: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها — نشر إليكترونى — ٤٢١ صفحة.

حسن، أحمد عبدامنعم (٢٠٢١). البطاطس: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها — نشر إليكترونى — ٥١٥ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم (٢٠٢٢). الثوميات: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها. نشر إليكترونى — ٥٠٦ صفحات.

Abbasi, S., A. Sadeghi, and N. Safaie. 2020. *Streptomyces* alleviate drought stress in tomato plants and modulate the expression of transcription factors ERF1 and WRKY70 genes. Sci. Hort. 265.

Abdelaziz, M. E. et al. 2019. *Piriformospora indica* alters Na^+/K^+ homeostasis, antioxidant enzymes and LeNHX1 expression of greenhouse tomato grown under salt stress. Sci. Hort. 256.

Abd El-Mageed, T. A. et al. 2020. Effects of integrated use of residual sulfur-enhanced biochar with effective microorganisms on soil properties, plant

growth and short-term productivity of *Capsicum annuum* under salt stress. Sci. Hort. 261.

Adak, N., H. Gubbuk, and N. Tetik. 2018. Yield, quality and biochemical properties of various strawberry cultivars under water stress. J. Sci. Food Agr. 98 (1): 304-311.

Agbna, G. H. D. et al. 2017. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. Sci. Hort. 222: 90-101.

Ahammed, G. J. et al. 2020. Melatonin alleviates iron stress by improving iron homeostasis, antioxidant defense and secondary metabolism in cucumber. Sci. Hort. 265.

Ahmad, Z. et al. 2018. Growth, physiology, and biochemical activities of plant responses with foliar potassium application under drought stress – a review. J. Plant Nutr. 41 (13): 1734-1743.

Akladious, S. A. and H. I. Mohamed. 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. Sci. Hrot. 236: 244-250.

Akrimi, R. et al. 2020. Agronomic traits, phenolic compounds and antioxidant activity in raw and cooked potato tubers growing under saline conditions. J. Sci. Food Agr. 100 (9): 3719-3728.

Alfosea-Simón, M. et al. 2020. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. Sci. Hort. 272.

Alam, A. et al. 2021. Effect of seed priming with potassium nitrate on

growth, fruit yield, quality and water productivity of cantaloupe under water-deficit stress. Sci. Hort. 288.

Alinina, M. et al. 2021. Improving salt tolerance threshold in common bean cultivars using melatonin priming: a possible mission ? J. Plant Nutr. 44 (18): 2691-2714.

Almaroai, Y. A. and M. A. Eissa. 2020. Effect of biochar on yield and quality of tomato grown on a metal-contaminated soil. Sci. Hort. 265.

Altaf, M. A. et al. 2021. Melatonin alleviates salt damage in tomato seedling: a root architecture system, photosynthetic capacity, ion homeostasis, and antioxidant enzymes analysis. Sci. Hort. 285.

Altuntas, O., H. Y. Dasgan, and Y. Akhoundnejad. 2018. Silicon-induced salinity tolerance improves photosynthesis, leaf water status, membrane stability, and growth in pepper (*Capsicum annuum* L.) HortScience 53 (12): 1820-1826.

Alves, C. M. L. et al. 2022. Artificial shading can adversely affect heat-tolerant lettuce growth and taste, with concomitant changes in gene expression. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 147 (1).

Ariken, S. et al. 2020. Plant growth promoting rhizobacteria mitigate deleterious combined effects of salinity and lime in soil in strawberry plants. J. Plant Nutr. 43 (13): 2028-2039.

Aslantas, R., I. Angin, M. Kose, and N. Bernstein. 2017. Ethylenediamine-N-N. dissuccinic acid mitigates salt-stress damages in strawberry by interfering with effects on the plant ionome. Ann. App. Bio. 171 (2).

Avestan, S. et al. 2021. Effects of nanosilicon dioxide on leaf anatomy, chlorophyll fluorescence, and mineral element composition of strawberry under salinity stress. J. Plant Nutr. 44 (20): 3005-3019.

Azizi, M. et al. 2021. *Piriformospora indica* affect drought tolerance by regulation of genes expression and some morphophysiological parameters in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Sci. Hort. 287.

Azuma, R. et al. 2010. Fruits are more sensitive to salinity than leaves and stems in pepper plants (*Copsicum annuum* L.) Sci. Hort. 125 (3): 171-178.

Bahmanbiglo, F. A. and S. Eshghi. 2021. The effect of hydrogen sulfide on growth, yield and biochemical responses of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* cv. Paros) leaves under alkalinity stress. Sci. Hort. 282.

Balliu, A. and G. Sallaku. 2021. The environment temperature affects post-germination growth and root system architecture of pea (*Pisum sativum* L.) plants. Sci. Hort. 278.

Beykkhormizi, A. et al. 2016. Effect of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. J. Plant Nutr. 39 (6): 883-893.

Boontongto, N., V. Srilaong, A. Uthairatanakij, C. Wongs-Aree, and K. Aryusuk. 2007. Effect of methyl jasmonate on chilling injury of okra pod. Acta. Hort. No. 746: 323-328.

Bosland, P. W. and E. J. Votava. 2000. Peppers: vegetable and spice capsicums. CABI Publishing. Wallingford, UK.

Brito, C. et al. 2019. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. Sci. Hort. 250: 310-316.

Bryla, D. R. and C. F. Scagel. 2014. Limitations of $CaCl_2$ salinity to shoot and root growth and nutrient uptake in 'Honeoye' strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) J. Hort. Sci. Biotechnol. 89 (4): 458-470.

Cardenosa, V. et al 2015. Effects of salinity and nitrogen supply on the quality and health-related compounds of strawberry fruits (*Fragaria* × *ananass* cv. Primoris). J. Sci. Food Agr. 95 (14): 2924-2930.

Carillo, P. et al. 2019. Morpho-physiological and homeostatic adaptive responses triggered by omperazole enhance lettuce tolerance to salt-stress. Sci. Hort. 249: 22-30.

Castanares, J. L. and C. Alberto Bouzo. 2019. Effect of exogenous melatonin on seed germination and seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.) under salt stress. Hort Plant J. 5 (2): 79-87.

Costan, A. et al. 2019. Interactive effects of salinity and silicon application on *Solanum lycopersicum* growth, physiology and shelf-life of fruit produced hydroponically. J. Sci. Food Agr. 100 (2).

Caulet, R.-P et al. 2014. Influence of furostanol glycosides treatments on strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) growth and photosynthetic characteristics under drought condition. Sci. Hort. 169: 179-186.

Chen, B., M. E. Saltveit, and D. M. Beckles. 2019, Chilling-stress modifies DNA methylation level in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling radicle to regulate elongation rate. Sci. Hort. 252.

Chen, S. et al. 2019. Effects of heterogeneous soil salinity on tomato photosynthesis and related physiological parameters. Sci. Hort. 249: 120-130.

Coban, A., Y. Akhoundnejad, S. Dere, and Y. Dasgan. 2020. Impact of

salt-tolerant rootstock on the enhancement of sensitive tomato plant responses to salinity. HortScience 55 (1): 35-39.

Codling, E. E., R. L. Chaney, and C. E. Green. 2015. Accumulation of lead and arsenic by carrots grown on lead-arsenate contaminated orchard soils. J. Plant Nutr. 38 (4): 509-525.

Collado-González, J. et al. 2021. Exogenous spermidine modifies nutritional and bioactive constituents of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) florets under heat stress. Sci. Hort. 277.

Cosic, M. et al. 2018. Effects of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. Sci. Hort. 238: 23-31.

Daghaghian, H., F. M. Nejad, and B. Bahreininejad. 2017. Physiological response of the medicinal plant artichoke (*Cynara scolymus* L.) to exogenous salicylic acid under field saline conditions J. Hort. Sci. Biotechnol. 92 (4): 389-396.

Dannehl, D. 2018. Effects of electricity on plant responses. Sci. Hort. 234: 382-392.

Dash, P. K. et al. 2020. Heat stress mitigation effects of kaolin and s-abscisic acid during the establishment of strawberry plug transplants. Sci. Hort. 267.

da Silva, D. L. et al. 2021. Silicon attenuates calcium deficiency in rocket plants by increasing the production of non-enzymatic antioidants compounds. Sci. Hort. 285.

Dehghanipoodeh, S. et al. 2018. Effect of silicon on growth and development of strawberry under water deficit conditions. Hort. Plant J. 4 (6): 226-232.

de la Torre-González, A. et al. 2018. Analysis of metabolic and nutritional biomarkers in *Brassica oleracea* L. cv. Bronco) plants under alkaline stress. J. Hort. Sci. Biotechnol. 93 (3): 279-288.

de la Torre-González, A. et al. 2018. Influence of the proline metabolism and glycine betaine on tolerance to salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) commercial genotypes. J. Plant Physiol. 231: 329-336.

de Pascale, S., A. Maggio, C. Ruggiero, and G. Barbieri. 2003. Growth, water relations, and ion content of field-grown celery [*Apium graveolens* L. var. *dulce* (Mill.) Pers.] under saline irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128 (1): 136-143.

Desoky, E. M. et al. 2020. Fennel and ammi seed extracts modulate antioxidant defense system and alleviate salinity stress in cowpea (*Vigna unguiculata*). Sci. Hort. 272.

Desouky, E. et al. 2021. Application of biostimulants promotes growth and productivity by fortifying the antioxidant machinery and suppressing oxidative stress in faba bean under various aboitic stresses. Sci. Hort. 288.

de Souza Freitas, W. E. et al. 2019. Sulfur-induced salinity tolerance in lettuce is due to a better P and K uptake, lower Na/K ratio and an effeicient antioxidative defense system. Sci. Hort. 257.

di Mola, I. et al. 2017. Morphophysiological traits and nitrate content of greenhouse lettuce as affected by irrigation with saline water. HortScience 52 (12): 1716-1721.

Ding, F., B. Liu, and S. Zhang. 2017. Exogenous melatonin ameliorates cold-induced damage in tomato plants. Sci. Hort. 219: 264-271.

Ding, F. et a. 2021. Jasmonic acid-regulated putrescine biosynthesis attenuated cold-induced oxidative stress in tomato plants. Sci. Hort. 288.

Ding, F. et al. 2022. A jasmonate-responsive glutathione S-transferase gene SlGSTU24 mitigates cold- induced oxidative stress in tomato plants. Sci. Hort. 303.

Dominguez, E., J. Cuartero, and R. Fernández-Munoz. 2002. Reduced container volume increases tomato pollen fertility at low ambient temperatures. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127 (1): 32-37.

Donderalp, V. and A. Dursum. 2022. Improvement of frost tolerance in tomato by foliar application of potassium sulphate. Sci. Hort. 295.

Edelstein, M. and M. Ben-Hur. 2018. Heavy metals and mettalloids: sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. Sci. Hort. 234.

Ehlers, J. D. and A. E. Hall. 1998. Heat tolerance of contrasting cowpea lines in short and long days. Field Crops Research 55: 11-21.

Ellouzi, H. et al. 2021. Seed-priming with H_2O_2 alleviates subsequent salt stress by preventing ROS production and amplifying antioxidant defense in cauliflower seeds and seedlings. Sci. Hort. 288.

ElSayed, A. I. et al. 2022. Seed priming with cypress leaf extract enhances photosynthesis and antioxidative defense in zucchini seedlings under salt stress. Sci. Hort. 293.

El-Tohamy, W., W. H. Schnitzler, U. El-Behairy, and M. S. El-Beltagy. 1999. Effect of VA mycorrhiza on improving drought and chilling tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). Angewandte

Botanik 73 (5/6): 178-183. c.a. Field Crops Abst. 53: Abst. 2591; 2000.

Esam, A. et al. 2017. Comparative effects of indole acetic acid and salicylic acid on oxidative stress marker and antioxidant potential of okra (*Abelmoschus esculentus*) fruit under salinity stress. Sci. Hort. 216: 278-283.

Escalante-Magaña, C. et al. 2019. Contribution of glycine betaine and praline to water deficit tolerance in pepper plants. HortScience 54 (6): 1044-1054.

Fan, S. et al. 2022. The salicylic acid mediates selenium-induced tolerance to drought stress in tomato plants. Sci. Hort. 300.

Farooq, M. et al. 2020. Intergrated use of seed priming and biochar improves salt tolerance in cowpea. Sci. Hort. 272.

Farooq, M. et al. 2021. Differential variations in total flavonoid content and antioxidant enzymes activities in pea under different salt and drought stresses. Sci. Hort. 287.

Farooq, M. et al. 2021. Morphological, physiological and biochemical aspects of zinc seed priming-induced drought tolerance in faba bean. Sci. Hort. 281.

Feng, X. et al. 2019. Growth and fruit production of tomato grafted onto wolfberry (*Lycium chinense*) rootstock in saline soil. Sci. Hort. 255: 298-305.

Fiasconaro, M. L. et al. 2019. Role of proline accumulation on fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown with a K-rich compost under drought conditions. Sci. Hort. 249: 280-288.

Forotaghe, Z. A. et al. 2022. Influence of humic acid application on onion growth characteristics under water deficit conditions. J. Plant Nutr. 45 (7): 1030-1040.

Franzoni, G. et al. 2022. Effect of exogenous application of salt stress glutamic acid on lettuce (*Lactuca sativa* L.). Sci. Hort. 299.

Ghanbari, F. and M. Sayyari. 2018. controlled drought stress affects the chilling-hardening capacity of tomato seedlings as indicated by changes in phenol metabolisms, antioxidant enzyme activity, osmolytes concentration and absicisic acid accumulation. Sci. Hort. 229: 167-174.

Giuffirida, F. et al. 2017. Effects of salt stress imposed during two growth phases on cauliflower production and quality. J. Sci. Food. Agr. 97 (5): 1552-1560.

Ghorbanpour, A., A. Salimi, M. A. T. Ghanbary, H. Pirdashti, and A. Dehestani. 2018. The effect of *Trichoderma harzianum* in mitigating low temperature stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Sci. Hort. 230: 134-141.

Gisbert-Mullor, R. et al. 2021. suitable rootstocks can alleviate the effects of heat stress on pepper plants. Sci. Hort 290.

Ciuliani, M. M. et al. 2019. The effect of strobilurin on ethylene production in flowers, yield and quality parameters of processing tomato grown under a moderate water stress condition in Mediterranean area. Sci. Hort. 249: 155-161.

Goldberg, N. P. 2004. Chile pepper disorders caused by environmental stress. New Mexico State University, Coop. Ext. Serv., Guide H-249. 2 pp. The Internet.

Gou, T. et al. 2022. Silicon delays salt stress-induced senescence by increasing cytokinin synthesis in tomato. Sci. Hort. 293.

Haghighi, M., S. Saadat, and L. Abbey. 2020. Effect of exogenous amino acids application on growth and nutritional value of cabbage under drought stress. Sci. Hort. 272.

Han, W., L. Huang, and O. J. Owojori. 2020. Foliar application of zinc alleviates the heat stress of pack-choi (*Brassica chinensis* L.). J. Plant Nutr. 43 (2): 194-213.

Hao, S., H. Cao, H. Wang, and X. Pan. 2019. The physiological responses of tomato to water stress and re-water in different growth periods. Sci. Hort. 249: 143-154.

Harrison, H. F., J. K. Peterson, and M. E. Snook. 2006. Simulated drought induces high caffeic acid contents in storage root periderm of greenhouse grown sweet potatoes. HortScience 41 (1): 277-278.

Harvell, K. P. and P. W. Bosland. 1997. The environment produces a significant effect on pungency of chiles. HortScience 32 (7): 1292.

Han, Y. J. et al. 2020. Plant responses to ozone: effects of different ozone exposure durations on plant growth and biochemical quality of *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*. Sci. Hort. 262.

Han, Y. J. et al. 2021. Effect of different durations of moderate ozone exposure on secondary metabolites of *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*. J. Hort. Sci. Biotechnol. 96 (1): 110-120.

Hernandez-Espinoza, L. H. and F. H. Barrios-Masias. 2020. Physiological and anatomical changes in tomato roots in response to low water stress Sci. Hort. 265.

Hernández-Salinas, M. et al. 2022. Silicon enhances the tolerance to moderate NaCl-salinity in tomato grown in a hydroponic recirculating system. J. Plant Nutr. 45 (3): 413-425.

Heshmat, K., B. A. Lajayer, M. R. Shakiba, and T. Astatkie. 2021. Assessment of physiological traits of common bean cultivars in response to water stress and molybdenum levels. J. Plant Nutr. 44 (3): 366-372.

Hu, W.-H., X.-H. Yan, Y. He, and R. Xi. 2019. 24-epibrassinolide alleviate drought-induced photoinhibition in *Capsecum annuum* via up-regulation of AOX pathway. Sci. Hort. 243: 484-489.

Hu, E. et al. 2021. Relationship between melatonin and abscisic acid in response to salt stress of tomato. Sci. Hort. 285.

Huang, G. and C. Shan. 2018. Lanthanum improves antioxidant capacity in chloroplast of tomato seedlings through ascorbate-glutathione cycle under salt stress. Sci. Hort. 232: 264-268.

Huang, M., Z. Zhang, C. Zhu, Y. Zhai, and P. Lu. 2019. Effect of biochar on sweet corn and soil salinity under conjunctive irrigation with brackish water in coastal saline soil. Sci. Hort. 250: 405-413.

Ibrahim, E. et al. 2022. Effects of biochar on soil properties, heavy metal availability and uptake, and growth of summer squash grown in metal-contaminated soil. Sci. Hort. 301.

Ibrahim, M. F. M., H. A. Ibrahim, and H. G. Abd El-Gawad. 2021. Folic acid as a protective agent in snap bean plants under water deficit conditions. J. Hort. Sci. Biotechnol. 96 (1): 94-109.

Ide, R. et al. 2022. Analysis of yield reduction factors in processing tomatoes under water logging conditions. Sci. Hort. 295.

Jahan, M. S. et al. 2019. Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by enhacing photosynthesis efficiency in improving antioxdant defense through scavenging of reactive oxygen species. Sci. Hort. 247: 421-429.

Jan, M. et al. 2020. Protective effect of potassium application on NaCl induced stress in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) genotypes. J. Plant Nutr. 43 (13): 1988-1998.

Jia, K., C. Yan, H. Yan, and J. Gao. 2020. Physiological responses of turnip (*Brassica rapa* L. subsp. *rapa*) seedlings to salt stress. HortScience 55 (10): 1567-1574.

Jiang, Y. et al. 2020. Pea Pollen viability and seed set response at high night temperature. Canad. J. Plant Sci. 100 (3): 332-335.

Jin, R. et al. 2015. Physiological changes of purslane (*Portulaca oleracea* L.) after progressive drought stress and rehydration. Sci. Hort. 194: 215-221.

Kadir, S., G. Sidhu, and K. Al-Khatib. 2006. Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. HortScience 41 (6): 1423-1430.

Kamanga, R. H. et al. 2020. Salinity acclimation ameliorates salt stress in tomato (*Solanum lycopersicon* L.) seedlings by triggering a cascade of physiological processes in leaves. Sci. Hort. 270.

Kaloterakis, N. et al. 2021. Silicon application and plant growth promoting rhizobacteria consisting of six pure *Bacillus* species alleviate salinity stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Sci. Hort. 288.

Karimaei, M. et al. 2022. Evaluation of aluminum toxicity and phosphorus treatment on the physiological and biochemical traits of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Sci. Hort. 298.

Kaya, C. et al. 2019. Alleviating effect of nitric oxide on oxidative stress and antioxidant defense system in pepper (*Capsicum annuum* L.) plants exposed to cadmium and lead toxicity applied separately or in combination. Sci. Hort. 255: 52-60.

Khosravifar, S. et al. 2020. Effects of different irrigation regimes and two arbuscular mycorrhizal fungi on some physiological characteristics and yield of potato under field conditions. J. Plant Nutr. 43 (13): 2067-2079.

Kim, B. H. et al. 2021. Effect of salt stress on the growth, mineral contents, and metabolite profiles of spinach. J. Sci. Food Agr. 101 (9): 3787-3794.

Kim, S. T. et al. 2022. *Bacillus butanolivorans* KJ40 contributes alleviation of drought stress in pepper plants by modulating antioxidant and polyphenolic compounds. Sci. Hort. 301.

Kitayama, M. et al. 2020. Calcium and soluble sugar enrichments and physiological adaptation to mild NaCl salt stress in sweet potato (*Ipomoea batatas*) genotypes. J. Hort. Sci. Biotechnol. 95 (6): 782-793.

Koleska, I. et al. 2018. Grafting influence on the weight and quality of tomato fruit under salt stress. Ann. App. Biol. 172 (2).

Kong, L. et al. 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, ion balance of tomato plants under saline-alkali soil condition. J. Plant Nutr. 43 (5): 682-698.

Korkmaz, A., A. Karagöl, G. Akinolu and H. Korkmaz. 2018. The effects of silicon on nutrient levels and yield of tomatoes under saline stress in artificial medium culture. J. Plant Nutr. 41 (1): 123-135.

Korkmaz, A. et al. 2021. Melatonin effects in enhancing chilling stress tolerance of pepper. Sci. Hort. 289.

Kucukyumuk, Z. and D. L. Suarez. 2021. The effect of selenium on salinity stress and selenate – sulfate comparison in kale. J. Plant Nutr. 44 (20): 2996-3004.

Kumar, V., R. K. Thakur, and P. Kumar. 2019. Assessment of heavy metals uptake by cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) grown in integrated industrial effluent irrigated soils: a prediction modeling stydy. Sci. Hort. 257.

Kumar, A., J. S. Patel, V. S. Meena, and P. W. Ramteke. 2019. Plant growth-promoting rhizobacteria: strategies to improve abiotic stresses under sustainable agriculture. J. Plant Nutr. 42 (11-12): 1402-1415.

Kurunc, A. 2021. Effects of water and salinity stress on growth, yield, and water use of iceberg lettuce J. Sci. Food Agr. 101 (13): 5688-5696.

Lacerda, V. R. et al. 2022. Silicon as a mitigator of water deficit stress in radish crop. Sci. Hort. 291.

Langeroodi, A. R. S., O. A. Osipitan, E. Radicetti, and R. Mancinelli. 2020. To what extent arbuscular mycorrhiza can protect chicory (*Cichorium intybus* L.) against drought stress. Sci. Hort. 263.

Latif, M., N. A. Akram, and M. Ashraf. 2016. Regulation of some

biochemical attributes in drought-stressed cauliflower (*Brassica oleracea* L.) by seed pre-treatment with ascorbic acid. J. Hort. Sci. Biotechnol. 91 (2): 129-137.

Ledesma, N. A. and S. Kamabata. 2016. Responses of two strawberry cultivars to severe high temperature stress at different development stages. Sci. Hort. 211: 319-327.

Ledesma, N. A., M. Nakata, and N. Sugiyama. 2008. Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. 'Nyoho' and 'Toyonoka', Sci. Hort. 116 (2): 186-193.

Lee, H. J. et al. 2021. Exogenously applied glutamic acid confers improved yield through increased photosynthesis efficiency and antioxidant defense system under chilling stress condition in *Solanum lycopersicum* L. cv. Dotaerang Dia. Sci. Hort. 277.

Li, S. et al. 2020. Effects of CO2 enrichment on non-strucutral carbohydrate metabolism in leaves of cucumber seedlings under salt stress. Sci. Hort. 265.

Li, B. et al. 2021. Combined environmental stress induced by drip irrigation positively affect most solar greenhouse grown tomato fruit quality. Sci. Hort. 288.

Li, M. et al. 2022. Short-tern suboptimal low temperature has short- and long-term effects on melon seedlings. Sci. Hort. 297.

Li, X. et al. 2022. The positive effects of exogenous sodium nitroprusside on the plant growth, photosystem II efficiency and Calvin cycle of tomato seedlings under salt stress. Sci. Hort. 299.

Liang, G., J. Liu, J. Zhang, and J. Guo. 2020. Effects of drought stress on

photosynthetic and physiological parameters of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 145 (1): 12-17.

Liang, Y. et al. 2022. Transcriptomic and metabolomic analysis of the mechanism of temperature-regulated anthocyanin biosynthesis in purple asparagus spears. Sci. Hort. 295.

Lin, F. W., et al. 2020. Effects of betaine and chitin on water use efficiency in lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*). HortScience 55 (1): 89-95.

Liu, X. and D. L. Suarez. 2021. Lima bean growth, leaf stomatal and nonstomatal limintations to photosynthesis, and ^{13}C discrimination in response to saline irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 146 (2).

Lloyd, K. L. et al. 2020. Response of sensitive and resistant snap lean genotypes to nighttime ozone concentration. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 145 (6): 331-339.

Lopez-Marin, J. et al. 2017. Selecting vegetative/generatie/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet peppers. Sci. Hort. 214: 9-17.

Lu, J. et al. 2020. Suboptimal temperature acclimation enhances chilling tolerance by improving photosynthetic adaptability and osmoregulation ability in watermelon. Hort. Plant J. 6 (1): 49-60.

Ma, S. et al. 2020. Enhancement of salt stressed cucumber tolerance by application of glucose for regulating antioxidant capacity and nitrogen metabolism. Canad. J. Plant Sci. 100 (3): 253-263.

Mahdy, A. M. et al. 2020. Seed priming in nanoparticles of water treatment residual can increase the germination and growth of

cucumber seedling under salinity stress. J. Plant Nutr. 43 (12): 1862-1874.

Malik, B. et al. 2021. Lead and aluminium-induced oxidative stress and alteration in the activities of antioxidant enzymes in chicroy plants. Sci. Hort. 278.

Manafi, H. et al. 2021. Nitric oxide induced thernotolerance in strawberry plants by activation of antioxidant systems and transcriptopnal regulation of heat shock proteins. J. Hort. Sci. Biotechnol. 96 (6): 783-796.

Maughan, T. L., B. L. Black, and D. Drost. 2015. Critical temperature for sul-lethal cold injury of strawberry leaves. Sci. Hort. 183-: 8-12.

Maxton, A., P. Singh, and S. A. Masih. 2018. ACC deaminase-producing bacteria mediated drought and salt tolerance in *Capsicum annuum*. J. Plant Nutr. 41 (5): 574-583.

Merwad, A. R. M. A. et al. 2018. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performance to silicon, proline or methionine foliar application. Sci. Hort. 228: 132-144.

Miao, Y. et al. 2020. Exogenous salicylic acid alleviates salt stress by improving leaf photosynthesis and root system architecture in cucumber seedlings. Sci. Hort. 272.

Min, K. et al. 2021. Supplemental calcium improves freezing tolerance of spinach (*Spinacia oleracea* L.) by mitigating membrane and photosynthetic damage, and bolstering anti-oxidant and cell-wall status. Sci. Hort. 288.

Mirfattahi, Z. and S. Eshghi. 2020. Inducing salt tolerance in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants by acetate application. J. Plant Nutr. 43 (12): 1780-1793.

Motamedi, M., M. Haghighi, and A. Goli. 2019. Physiological changes of sweet and hot peppers in vegetative and reproductive growth stages treated by Ca and H_2O_2 under unforeseen heat stress. Sci. Hort. 249: 306-313.

Montesinos-Pereira, D., A. de la Torre-González, B. Blasco, and J. M. Ruiz. 2018. Hydrogen sulphide increase the tolerance to alkalinity stress in cabbage plants (*Brassica oleracea* L. 'Bronco'). Sci. Hort. 235: 349-356.

Munawar, A., N. A. Akram, A. Ahmad, and M. Ashraf. 2019. Nitric oxide regulates oxidative defense system, key metabolites and growth of broccoli (*Brassica oleracea* L.) plants under water limited conditions. Sci. Hort. 254.

Nabati, J. et al. 2021. Lowering medium pH improves tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants to long-term salinity exposure J. Plant Nutr. 41 (13): 1853-1868.

Nigam, B. et al. 2022. Protective role of exogenously supplied salicylic acid and PGPB (*Stenotrophomonas* sp.) on spinach and soybean cultivars grown under salt stress. Sci. Hort. 293.

Niu, C. et al. 2022. Biostimulants alleviate temperature stress in tomato seedlings. Sci. Hort. 293.

Nolet, N. and D. J. Wolyn. 2020. Fall defoliation affects acquisition of freezing tolerance and spring regrowth in asparagus. Canad. J. Plant Sci. 100 (4): 380-391.

Oh,. M. M., E. E. Carey, and C. B. Rajashekar. 2010. Regulated water deficits improve photochemical concentration in lettuce. J. Amer. Sco. Hort. Sci. 135: 223-229.

Oregon State University. 2002. Globe artichoke. Commercial vegetable production guides. The Internet.

Orsini, F. et al. 2018. Hydroponic lettuce yields are improved under salt stress by utilizing white plastic film and exogenous applications of proline. Sci. Hort. 233: 283-293.

Parkash, V. and S. Singh. 2020. Potential of biochar application to mitigate salinity stress in eggplant. HortScience 55 (12): 1946-1955.

Parthasarathi, T. et al. 2021. Grafting of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) onto potato (*solanum tuberosum* L.) to improve salinity tolerance. Sci. Hort. 282.

Pasbani, B. et al. 2020. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi mitigates cold stress through improvement of antioxidant defense and accumulation of protecting molecules in eggplants. Sci. Hort. 272.

Pedrosa, V. M. D. et al. 2021. Production of mycosporine-like amino acid (MAA)-loaded emulsions as chemical barriers to control sunscald in fruits and vegetables. J. Sci. Food Agr. 102 (2): 801-812.

Penella, C. et al. 2017. Grafting pepper onto tolerant rootstocks: an environmental-friendly technique overcome water and salt stress. Sci. Hort. 226: 33-41.

Peng, Y. Q. et al. 2020. Effects of grafting on root growth, anaerobic respiration enzyme activity and aerenchyma of bitter melon under water logging stress. Sci. Hort. 261.

Pérez-Jiménez, M., M. C. Piñero, and F. M. del Amor. 2019. Heat shock, high CO_2 and nitrogen fertilization effects in pepper plants submitted to elevated temperatures. Sci. Hort. 244: 322-329.

Pérez-López, U. et al. 2015. Growth and nutritional quality improvement in two differently pigmented lettuce cultivars under elevated CO_2 and/or salinity. Sci. Hort. 195: 56-66.

Petropoulos, S. A., D. Daferera, M. G. Polissiou, and H. C. Passam. 2009. The effect of salinity on the growth, yield and essential oils of turnip-rooted and leaf parsley cultivated within the Mediterranean region. J. Sci. Food Agr. 89 (9): 1534-1542.

Phimchan, P., S. Techawongstien, S. Chanthai, and P. W. Bosland. 2012. Impact of drought stress on the accumulation of capsaicinoids in capsicum cultivars with different initial capsaicinoid levels. HortScience 47 (9): 1204-1209.

Piñero, M. C. et al. 2020. Foliar application of putrescine before a short-term heat stress improves the quality of melon fruits (*Cucumis melo* L.). J. Sci. Food Agr. 101 (4): 1428-1435.

Pinto, F. R. et al. 2017. Oxidative stress response in spinach induced by cadmium. J. Plant Nutr. 40 (2): 268-276.

Pols, S. et al. 2022. The regulatory role of nitric oxide and its significance for future postharvest applications. Postharvest Biol. Technol. 188.

Porch, T. G. and M. Jahn. 2001. Effects of high-temperature stress on microsporogensis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgris*. Plant, Cell Env. 24 (7): 723-731.

Qiu, R., Y. Jing, C. Liu Z. Yang, and Z. Wang. 2017. Response of hot pepper yield, fruit quality, and fruit ion content to irrigation water salinity and leaching fractions. HortScience 52 (7): 979-985.

Qiu, R., Z. Yang. Y. Jing, C. Liu, and X. Luo. 2018. Effects of irrigation water salinity on the growth, gas exchange parameters, and ion concentration of hot pepper plants modified by leaching fractions. HortScience 53 (7): 1050-1055.

Quartacci, M. F., C. Sgherri, and S. Frisenda. 2017. Biochar amendment affects phenolic composition and antioxidant capacity restoring the nutraceutical value of lettuce grown in a copper-contaminated soil Sci. Hort. 216. 9-14.

Racic, G. et al. 2018. The influence of *Trichoderma brevicompactum* treatment and drought on physiological parameters, abscisic acid content and signaling pathway marker gene expression in leave and roots of tomato. Ann. App. Boil. 173 (3).

Rady, M. M. and G. F. Mohamed. 2015. Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract. Sci. Hort. 193: 105-113.

Rady, M. M. et al. 2019. Maize (*Zea mays* L.) grains extract mitigates the deleterious effects of salt stress on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and physiology. J. Hort. Sci. Biotechnol. 94 (6): 777-789.

Rady, M. M., S. S. Taha, and S. Kusvuran. 2018. Integrative application of cyanobacteria and antioxidants improves common bean performance under saline conditions. Sci. Hort. 233: 61-69.

Rady, M. M., H. E. E. Belal, F. M. Gadallah, and W. M. Semida. 2020. Selenium appliecation in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. Sci. Hort. 266.

Rajashekar, C. B. and M. Panda. 2014. Water stress is a component of cold acclimation process essential for inducing full freezing tolerance in strawberry. Sci. Hort. 174: 54-59.

Rameshwaran, P., A. Tepe, A. Yazar, and R. Ragab. 2016. Effects of drip-irrigation regimes with saline water on pepper productivity and soil salinity under greenhouse conditions. Sci. Hort. 199: 114-123.

Rasheed, R. et al. 2018. Glycine betaine counteracts the inhibitory effects of waterlogging on growth, oxidative defense system, nutrient composition, and fruit quality in tomato. J. Hort. Sci. Biotechnol. 93 (4): 385-391.

Razzaq, M. et al. Interactive effect of drought and nitrogens on growth, some key physiological attributes and oxidative defense system in carrot (*Daucus carota* L.) plants. Sci. Hort . 225: 373-379.

Ricardez-Miranda, L. E. et al. 2021. Water restriction during the vegetative and reproductive stages of *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*, and its effect on growth, secondary metablites and fruit yield. Sci. Hort. 285.

Rios, J. J. et al. 2021. Influence of foliar methyl-jasmonate biostimulation on exudation of glucosinolates and their effect on root pathogens of broccoli plants under salinity condition. Sci. Hort. 282.

Roosta, H. R. and M. Bikdeloo. 2022. Nutritional response of grafted cucumber on two types of Iranian local squash to alkalinity and salinity stresses. J. Plant Nutr. 45 (8): 1275-1282.

Ruiz, M. S. et al. 2015. Salinity induced fruit hypodermis thickening aleters the texture of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill) fruits. Sci. Hort. 192: 244-249.

Ruiz-Lau, N. et al. 2011. Water deficit affects the accumulation of capsaicin in fruits of *Capsicum chinense* Jacq. HortScience 46: 487-492.

Sahin, U. et al. 2015. Ameliorative effects of plant growth promoting bacteria on water-yield relationships, growth, and nutrient uptake of lettuce plants under different irrigation levels. HortScience 50 (9): 1379-1386.

Sahin, U. et al. 2018. Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Sci. Hort. 240: 196-204.

Saia, S. et al. 2019. An endophytic fungi-based biostimulant modulated lettuce yield, physiological and functional quality responses to both moderate and severe water limitation. Sci. Hort. 256.

Saidimoradi, D., N. Ghaderi, and T. Javadi. 2019. Salinity stress mitigation by humic acid application in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). Sci. Hort. 256.

Sakr, M. T., H. M. Ibrahim, A. E. El-Awady, and A. A. Abo El-Makarm. 2021. Grwoth yield and biochemical constituents as well as post-harvest quality of water-stressed broccoli (*Brassica oleraceae* L. var. *italica*) as affected by certain biomodulators. Sci. Hort. 275.

Samarah, N. H., N. A. Al-Qurran, R. S. Massad. And G. E. Welbaum. 2020. Treatment of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds with chitosan increases chitinase and glucanase activities and enhances emergence in a standard cold test. Sci. Hort. 269.

Sánchez-Virosta, A. et al. 2021. Phenotypic plasticity in relation to inter-

cultivar variation of garlic (*Allium sativum* L.) functional performance and yield-stability in response to water availability. Sci. Hort. 285.

Sanoubar, R. et al. 2016. Salinity thresholds and genotypic variability of cabbage (*Brassica oleracea* L.) grown under saline stress. J. Sci. Food Agr. 96 (1): 319-330.

Schmitt, O. J. et al. 2020. Impact of Cu concentrations in nutrient solution on growth and physiological and biochemical parameters of beet and cabbage and human health risk assessment. Sci. Hort. 272.

Semida, W. M., T. A. Abd El-Mageed, K. Hemida, and M. M. Rady. 2019. Natural bee-honey based biostimulants confer salt tolerance in onion via modulation of the antioxidant defense systems. J. Hort. Sci. Biotechnol. 94 (5): 632-642.

Semida, W. M. et al. 2020. Exogenously applied proline enhances growth and productivity of drought stressed onion by improving photosynthetic efficiency, water use efficiency and up-regulating osmoprotectants. Sci. Hort. 272.

Sergiev, I. et al. 2019. Exogenous auxin type compounds amend PEG-induced physiological responses of pea plants. Sci. Hort. 248: 200-205.

Serna, M. et al. 2015. A brassinosteroid analogue prevented the effect of salt stress on ethylene synthesis and polyamines in lettuce plants. Sci. Hort. 185: 105-112.

Reva, M. et al. 2021. Arbuscular mycorrhizal inoculation enhances endurance to severe heat stress in three horticultural crops.HortScience 56 (4): 396-406.

Shah, A. A., S. Ahmed, M. Abbas, and N. A. Yasin. 2020. Seed priming with 3-epibrassinolide alleviates cadmium stress in *Cucumis sativus* through modulation of antioxidative system and gene expression. Sci. Hort. 265.

Shah, A. A. et a. 2021. 4-Hydroxymelatonin alleviates nickel stress, improves physiochemical traits of *Solanum melongena*: regulation of polyamine metabolism and antioxidative enzyme. Sci. Hort. 282.

Shahid, M. A. et al. 2015. Exogenous 24-Epibrassionolide elevates the salt tolerance potential of pea (*Pisum sativum* L.) by improving osmotic adjustment capacity and leaf water relations. J. Plant Nutr. 38: 1050-1072.

Shahzad, K. et al. 2022. Exogenous application of indole-3-acetic acid to ameliorate salt induced harmful effects on four eggplant (*Solanum melongena* L.) varieties. Sci. Hort. 292.

Shamsabad, M. R. M., H. R. Roosta, and M. Esmaeilizadeb. 2021. Responses of seven strawberry cultivars to alkalinity stress under soilles culture system. J. Plant Nutr. 44 (2): 166-180.

Shaukat, M. et al. 2019. Acclimation improves salinity tolerance capacity of pea by modulating potassium ions sequestration. Sci. Hort. 254. 193-198.

Shekari, L., M. M. Kamelmanesh, M. Mozafariyan, M. Hasanuzzaman, and F. Sadeghi: 2017. Role of selenium in mitigation of cadmium toxicity in pepper grown in hydroponic condition. J. Plant Nutr. 40 (6): 761-772.

Shekari, L., H. Aroiee, A. Mishekari, and H. Nemati. 2019. Protective role of selenium on cucumber (*Cucumis sativus* L.) exposed to

cadmium and lead stress during reproductive stage: role of selenium on heavy metals stress. J. Plant Nutr. 42 (5): 529-542.

Shen, J.- I. et al. 2019. Exogenous putrescine regulates leaf starch overaccumulation in cucumber under salt stress. Sci. Hort. 253.

Shibuya, T. et al. 2022. Far-red light interacts with wind-induced stress in cucumber seedling. Sci. Hort. 295.

Siamak, S. B. and S. Paolo. 2019. Responses of grafted watermelon onto *Cucurbita pepo* Tiana F_1 hybrid to boron nutritional disorders. Hort. Plant J. 5 (5): 213-220.

Singh, M., R. K. Saini, S. Singh, and S. P. Sharma. 2019. Potential of integrating biochar and deficit irrigation strategies for sustaining vegetable production in water-limited regions: a review. HortScience 54 (11): 1872-1878.

Singh, B. et al. 2021. Potato periderm is the first layer of defence against biotic and abiotic stresses: a review. Potato Res. 64: 131-146.

Sitohy, M. Z. et al. 2020. Pumplin seed protein hydrolysate treatment alleviates salt stress effects on *Phaseolus vulgaris* by elevating antioxidant capacity and recovering ion homeostasis. Sci. Hort. 271.

Solis, J. et al. 2014. Effect of drought on storage root development and gene expression profile of sweetpotato under greenhouse and field conditions. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 139 (3): 317-324.

Souana, K, et al. 2020. Salt-tolerance in *Vicia faba* L. is mitigated by the capacity of salicylic acid to improve photosynthesis and antioxidant response. Sci. Hort. 273.

Stagnari, F., A. Galieni, S. D'Egidio, G. Pagnani, and M. Pisante. 2017.

Responses of radish (*Raphanus sativus*) to drought stress. Ann. App. Biol. 172 (2).

Suchoff, D. H. et al. 2018. Grafting the indeterminate tomato cultivar Moneymaker onto Multifort rootstock improves cold tolerance. HortScience 53 (11): 1610-1617.

Suchoff, D. H. et al. 2018. Rootstock effect on grafted tomato transplant: shoot and root responses to drying soils. HortScience 53 (11): 1586-1592.

Suchoff, D. H. et al. 2018. Rootstock improves high-tunnel tomato water use efficiency. HortTechnology 28 (3): 344-353.

Sun, M. et al. 2020. NADPH-H_2O_2 shows different functions in regulating thermotolerence under different high temperatures in *Solanum pimpinellifolium* L. Sci. Hort. 261.

Tabatabaei, S. J. 2016. Interactive effects of Si and NaCl on growth, yield, photosynthesis, and ions content in strawbwerry (*Fragaria* × *ananassa* var. Camarosa). J. Plant Nutr. 39 (11): 1524-1535.

Taha, S. S. and A. Sh. Osman. 2018. Influence of potassium humate on biochemical and agronomic attributes of bean plants grown on saline soil. J. Hort. Sci. Biotechnol. 93 (5): 545-554.

Talaat. N. B. 2019. Effective microorganisms: an innovative tool for inducing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) salt-tolerance by regulating photosynthetic rate and endogenous phytohormones production. Sci. Hort. 250: 254-265.

Tonhati, R., S. C. Mello, P. Momesso, and R. M. Pedroso. 2020. L-proline alleviates heat stress of tomato plants grown under protected environment. Sci. Hort. 268.

Tanveer, K. et al. 2020. Effect of salt stress on tomato plant and the role of calcium. J. Plant Nutr. 43 (1): 28-35.

Tigka, T. and I. Ipsilantis. 2020. Effects of sand dune, desert and field arbuscular mycorrhizae on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth in a natural saline soil. Sci. Hort. 264.

Tiwari, R. K. et al. 2020. Emerging roles of melatonin in mitigating abiotic and biotic stresses of horticultural crops. Sci. Hort. 272.

Turan, M. et al. 2021. Effect of biostimulants on yield and quality of cherry tomatoes grown in fertile and stressed soils. HortScience 56 (4): 414-423.

UG, University of Georgia. 2007. Commercial tomato production handbook. Cooperative Extension. Bul. 1312. The Internet.

UG, University of Georgia. 2009. Commercial pepper production handbook. Cooperative Extension. Bul. 1309. 56 pp. The Internet.

Urlić, B., G. Dumicic, M. Romić, and S. G. Ban. 2017. The effect of N and NaCl on growth, yield, and nitrate content of salad rocket (*Eruca sativa* Mill.). J. Plant Nutr. 40 (18): 2611-2618.

Valivand, M. and R. Amooaghaie. 2021. Foliar spray with sodium hydrosulfide and calcium chloride advances dynamic critical elements and efficiency of nitrogen metabolism in *Cucurbita pepo* L. under nickel stress. Sci. Hort. 283.

Venancio, J. B. et al. 2022. Yield and morphology of onion grown under salinity and fertilization with silicon. Sci. Hort. 301.

Viciedo, D. O. et al. 2020. Physiological role of silicon in radish seedlings under ammonium toxicity. J. Sci. Food Agr. 100 (15).

Wasti, S. et al. 2017. Exogenous application of calcium silicate improves salt tolerance in two contrasting tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivars. J. Plant Nutr. 40 (5): 673-684.

Weber, N. et al. 2017. Influence of deficit irrigation on strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruit quality. J. Sci. Food Agr. 97 (3): 849-857.

Weil, S. et al. 2021. Plant growth and calcium and potassium accumulation in lettuce under different nitrogen regimes of ammonium and nitrate nutrition. J. Plant Nutr. 44 (2): 270-281.

Wen, J. et al. 2021. Identification and analysis of Cathepsin B-like protease 2 genes in tomato at abiotic stresses especially at high temperature. Sci. Hort. 277.

Wilson, C. et al. 2006. Growth response of major U. S. Cowpea cultivars. I. Biomass accumulation and salt tolerance. HortScience 41 (1).

Wu, X. X., H. D. Ding, J. L. Chen, Z. W. Zhu, and D. S. Zha. 20115. Exogenous spray application of 24-epibrassinolide induced changes in photosynthesis and anti-oxidant defences against chlling stress in eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings. J. Hort. Sci. Biotechnol. 90 (2) 217-225.

Wu, X. X.. J. L. Chen, S. Xu, Z. W. Zhu, and D. S. Zha. 2016. Exogenous 24-epibrassinolide alleviates zinc-induced toxicity in eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings by regulating the glutathione-ascorbate dependent detoxification pathway. J. Hort. Sci. Biotechnol. 91 (4): 412-420.

Wu, L., W. Huo, D. Yao, and M. Li. 2019. Effects of solid matrix priming (SMP) and salt stress on broccoli and cauliflower seed germination and early seedling growth. Sci. Hort. 255: 161-168.

Wu, Y. et al. 2019. Foliar application of S-aminolevulinic acid (ALA) alleviates NaCl stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings through the enhancement of ascorbate-glutathione cycle. Sci. Hort. 257.

Wu, S. et al. 2021. Exogenous melatonin improves physiological characteristics and promotes growth of strawberry seedlings under cadmium stress. Hort. Plant J. 7 (1): 13-22.

Wu, X. et al. 2021. Melatonin: biosynthesis, content, and function in horticultural plants and potential application. Sci. Hort. 288.

Wu, X. et al. 2022. Abscisic acid and reactive oxygen species were involved in slightly acidic electrolyzed water-promoted seed germination in watermelon. Sci. Hort. 291.

Xu. J. et al. 2021. Light regulation of horticultural crop nutrient uptake and utilization. Hort. Plant J. 7 (5): 367-379.

Xu, J. et al. 2021. Nitric acid mediates 8-aminobutyric acid- enhanced muskmelon tolerance to salinity–alkalinity stress conditions. Sci. Hort. 286.

Yaghubi, K. et al. 2016. Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilles pot culture. Sci. Hort. 213: 87-95.

Yan, Z., T. Ma, S. Guo, R. Liu, and M. Li. 2021. Leaf anatomy, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of lettuce as influenced by arbuscular mycorrhizal fungi under high temperature stress. Sci. Hort. 280.

Yan, M. et al. 2022. The involvement of abscisic acid in hydrogen gas-enhanced drought resistance in tomato seedlings. Sci. Hort. 292.

Yang, X. et al. 2022. Exogenous spermidine enhances the photosynthesis and ultastructure of lettuce seedlings under high-emperature stress. Sci. Hort. 291.

Yasour, H., M. Firer, and E. Beit-Yannai. 2015. Protective structures and manganese amendments effects on antioxidant activity in pepper fruit. Sci. Hort. 185: 211-218.

Yeasmin, R. et al. 2019. Arbuscular mycorrhiza influences growth and nutrient uptake of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) under heat stress. HortScience 54 (5): 846-850.

Yin, X. M. et al. 2022. Effect of inorganic nitrogen and phosphorus on morphology, ion uptake and photosynthesis activity in Jerusalem artichoke plants under salt stress. J. Plant Nutr. 45 (9): 1378-1392.

Yooyongwech, S. et al. 2016. Arvuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficiet tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline. Sci. Hort. 198: 107-117.

Zaman, S. et al. 2019. The accumulation of fatty acids in different organs of purslane under salt stress: Sci. Hort. 250: 236-242.

Zellner, W. et al. 2021. Silicon's role in plant stress reduction and why this element is not used routinely for managing plant health. Phytopathology 111.

Zhang, X. et al. 2019. Copper chlorophyllin impacts on growth and drought stress tolerance of tomato plants. HortScience 54 (12): 2195-2201.

Zhang, T. et al. 2020. Alleviating effects of exogenous melatonin on salt stress in cucumber. Sci. Hort. 262.

Zhang, Z. et al. 2020. Calcium is nvolved in exogenous NO-induced enhancement of photosynthesis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under low temperature. Sci. Hort. 261.

Zhang, Z., S. Gao, and C. Shan. 2020. Effects of sodium selenite on the antioxidant capacity and the fruit yield and quality of strawberry under cadmium stress. Sci. Hort. 260.

Zhang, Y. et al. 2020. Elevated CO_2 improves antioxidant capacity, ion homeostasis, and polyamine metabolism in tomato seedlings under Ca $(NO_3)_2$-induced salt stress Sci. Hort. 273.

Zhang, G., Z. Yan, Y. Wang, Y. Feng, and Q. Yuan. 2020. Exogenous proline improve the growth and yield of lettuce with low potassium content. Sci. Hort. 271.

Zhang, X. et al. 2022. Exogenous strigolactones alleviate the photosynthetic inhibition and oxidative damage of cucumber seedlings under salt stress. Sci. Hort. 297.

Zhao, C. et al. 2022. Melatonin is a potential target for improving horticultural crop resistance to abiotic stress. Sci. Hort. 291.

Zhao, H. et al. 2022. Melatonin reduces photo inhibition in cucumber during chilling by regulating the Calvin-Benson cycle. Sci. Hort. 299.

Zhao, X. et al. 2022. Morphological and physiological response mechanism of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to consecutive heat stress. Sci. Hort. 301.

Zheng, P. et al. 2016. Nitric oxide enhances the nitrate stress tolerance of spinach by scavenging ROS and RNS. Sci. Hort. 213: 24-33.

Zheng, J. et al. 2021. Alternative oxidase pathway is likely involved in waterlogging tolerance of waterlogging tolerance of watermelon. Sci. Hort. 278.

Zhou, Y. et al. 2019. Application of exogenous glutathione confers salinity stress tolerance in tomato seedlings by modulating ions homeostasis and polyamine metabolism. Sci. Hort. 250: 45-58.

Zhou, W. et al. 2022. Exogenous pig blood-derived protein hydrolysates as a promising method for alleviation of salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Sci. Hort. 294.

المؤلف فى سطور



دكتور أحمد عبد المنعم حسن – أستاذ الخضر المتفرغ بكلية الزراعة، جامعة القاهرة – من مواليد محافظة البحيرة – جمهورية مصر العربية - ١٩٤٢.

حصل على البكالوريوس من جامعة الإسكندرية بتقدير ممتاز مع مرتبة الشرف الأولى عام ١٩٦٢، والماجستير من جامعة ولاية نورث كارولينا ١٩٦٦، والدكتوراه من جامعة كورنل بالولايات المتحدة ١٩٧٠.

عمل بالتدريس وإجراء الأبحاث العلمية فى جامعات القاهرة، والإسكندرية، وبغداد، والإمارات العربية المتحدة.

أشرف على عديد من طلبة الدراسات العليا فى جامعات القاهرة، وعين شمس، وبغداد، وشارك فى مناقشة عديد من رسائل الماجستير والدكتوراه، وفى تقييم المتقدمين للترقيات العلمية فى عديد من الجامعات المصرية والعربية.

عضو عديد من اللجان والجمعيات العلمية المحلية والعالمية.

له ٧٩ مؤلفًا علميًا وأكثر من ٩٠ بحثًا علميًا منشورة فى الدوريات العلمية المحلية والعالمية، إضافة إلى حوالى ٢٧ نشرة إرشادية.

حصل على جائزة الدولة التشجيعية ووسام العلوم والفنون من الطبقة الأولى (أكاديمية البحث العلمى – مصر) عام ١٩٨٤، وأربع جوائز عن التأليف العلمى الزراعى (وزارة الزراعة – مصر) عام ١٩٨٤ والجائزة الأولى لندوة الثقافة والعلوم (دبى) عام ١٩٩١.

ويمكن الإطلاع على مؤلفات الدكتور/ أحمد عبدالمنعم حسن فى صفحته على جوجل، وهى:

https://sites.google.com/view/prof-ahmed-hassan-site/home